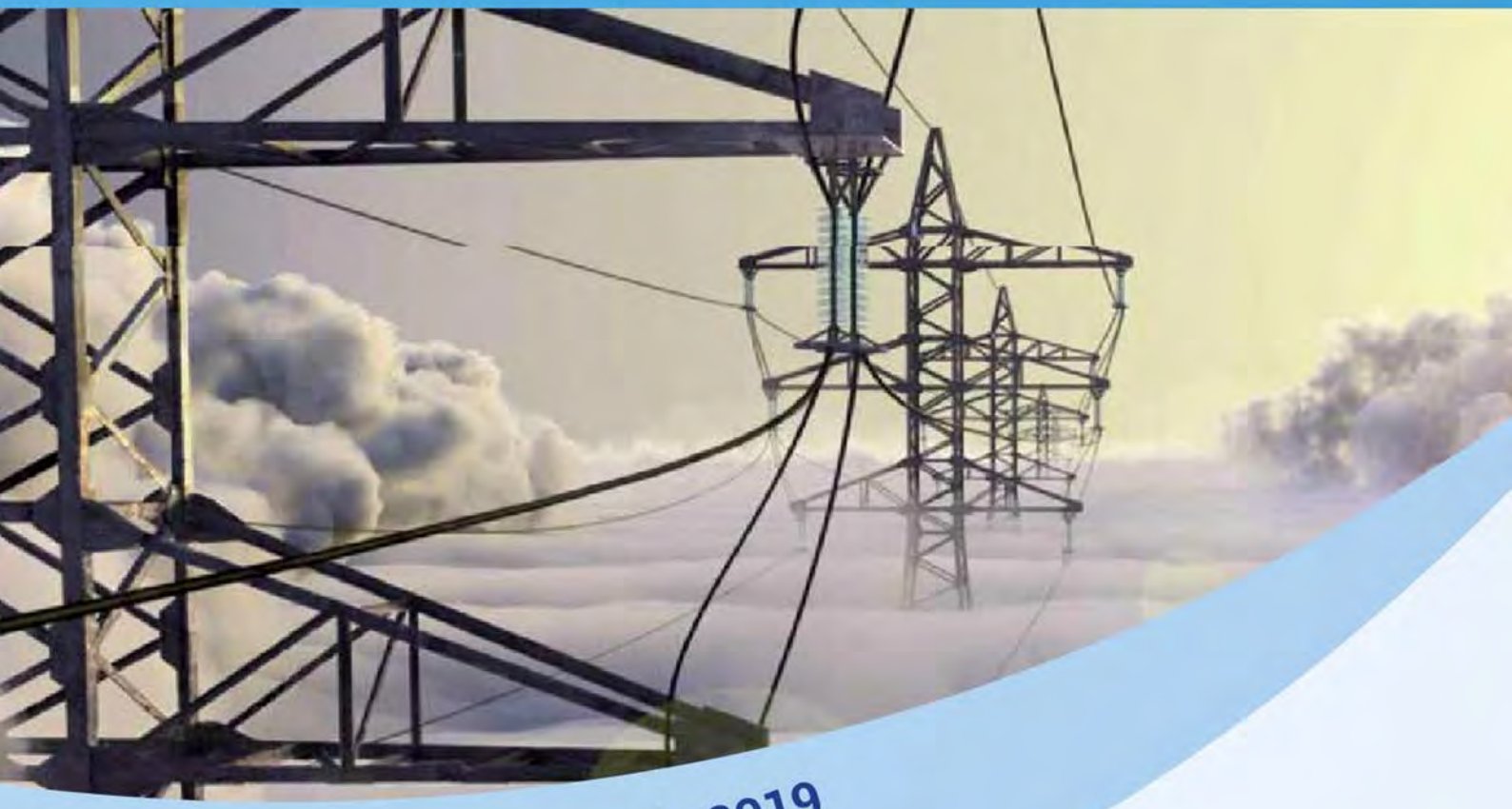
iENER'19

II Congreso Ingeniería Energética



Madrid, 26 y 27 de junio de 2019

www.congresoiener.com

# LIBRO DEL CONGRESO

## iENER'19

# DIA 26 DE JUNIO

8:30 - 9:00 **RECEPCIÓN Y ENTREGA DE DOCUMENTACIÓN**

9:00 - 9:35 **ACTO INAUGURAL**

José Luis Parra y Alfaro. DIRECTOR DE LA **ETSI DE MINAS Y ENERGÍA**

Javier Cervera Alonso. DIRECTOR DEL **CONGRESO iENER'19**

Bill Kent. DIRECTOR EJECUTIVO DE LA **AEE INTERNACIONAL**

9:35 - 10:00 **CONFERENCIA MAGISTRAL "El futuro sostenible del gas natural"**

Claudio Rodríguez. Director General de Infraestructuras **ENAGÁS**

10:00 - 12:00 **SESIÓN 1 PLENARIA.**
Modera: Guillermo Escobar. **NATURGY.**

"Gas renovable" **Francisco Javier Torres Calvo**. Responsable de la Unidad de Nuevos Negocios. **NEDGIA**

"El rol de los servicios digitales en la nube en los contratos de rendimiento energético". **Joan Vidal Rull.** Director Técnico Europeo de Eficiencia Energética. **HONEYWELL**

"A multi-HVAC system autonomic management architecture for smart buildings". **Nuria Gallego Salvador.** Directora Técnico Comercial. **FCC INDUSTRIAL**

"Servicio Integral de Eficiencia Energética – Auditoría, Monitorización, Seguimiento, Proyectos y Financiación". **Francisco Conesa**. Desarrollo de negocio. **ACCIONA**

12:00 - 12:30 **Café / Networking**

12:30 - 14:30 **SESIÓN 2 Track A. CLIMATE CHANGE: WHAT CAN WE DO TO MITIGATE IT**
Modera: Adriana Thumann

"Climate Change Project – Introduction to Climate Change" **Álvaro Rodríguez.** Director **THE CLIMATE REALITY PROJECT**

"A business narrative: fighting against change is mandatory feasible, cheap and plenty of opportunities" **Carlos Salle Alonso.** Director de Políticas Energéticas y Cambio Climático. **IBERDROLA**

"Water - The Molecular Planetary Flywheel in Action" **Dr. Adam Wexler.** Chief Science Officer. **Joi Scientific**

"Taking back the streets: Cities, Transportation, and Climate Change" **Jairo García.** Professor **Georgia Tech. School of City and Regional Planning**

"Solution - Circular Economy how it works and how to implement" **Álvaro Rodríguez.** Director **THE CLIMATE REALITY PROJECT**

**SESIÓN 2 Track B. ENERGÍAS RENOVABLES y SMART GRIDS**
Modera: Eugenia Sillero **GASNAM**

"El biogás en España" **Luis Alberto Sebastián González.** Technical Director **GENIA BIOENERGY**

"Inyección de biometano en la red de gas natural vs compostaje y producción de biogás: un análisis de factores para toma de decisiones" **Montserrat Zamorano Toro.** Responsable Innovación **UNIVERSIDAD DE GRANADA (UGR)**

"Caso de éxito de simuladores para la recuperación de tensión en islas eléctricas. Bases para el digital twin de centrales eléctricas" **Patricia Romero.** Ingeniero de Operación, Responsable Comercial Área Simulación. **TECNATOM**

"Peak-Shaving Application with Energy Storage Systems in Microgrids" **Manuel García Plaza.** Control Algorithms Manager **SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY**

# PROGRAMA

14:30 - 16:00 **Comida / Networking ofrecida por HONEYWELL**

16:00 - 18:00

**SESIÓN 3 Track A. ENERGÍAS RENOVABLES y SERVICIOS ENERGÉTICOS**
Modera: Marc Masó. **AEE SPAIN CHAPTER**

"La eficiencia energética en los servicios" **Raúl Ramos Gamero.** Coordinador de Proyectos de Servicios Energéticos. **FERROVIAL SERVICIOS**

"Digitalización de la energía y su calidad" **Jacinto López Valero.** Gerente. **CYDESA**

"Desarrollo de una plataforma de cálculo predictivo-inteligente de la flexibilidad energética en tiempo real de plantas de tratamiento de agua" **Francisco David Gallego Martínez.** Director. **REGENERA**

"Energy performance measurement of an air-cooled chiller: on-field vs manufacturer data" **Rafael Pérez Cortines.** Senior Business Development Supervisor. **DAIKIN EUROPE N.V.**

**SESIÓN 3 Track B. ENERGÍAS RENOVABLES y ECONOMÍA SOSTENIBLE**
Modera: Joaquín P. Mas. **GRUPO ENERCOOP**

"Nuevos modelos de negocio para la economía colaborativa y circular: intercambio y gestión sostenible del excedente industrial" **Laura Martín Frax**. Ingeniero I+D+I. **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ENERGÍA (ITE)**

"La co-creación como clave del éxito de una comunidad ciudadana de energía. Co-diseñando la gobernanza de la comunidad" **Juan Sacri**. Smart Energy Lead. **BARRIO LA PINADA**

"Objetivo 2030: la descarbonización de Menorca. Transición energética en sistemas insulares" **Ignacio García Belenguer.** Profesor. **CIPFP CATARROJA**

"ECO-GATE: proyecto EDAR Butarque. La UE impulsa el gas renovable" **Jesús Hernández**. Nuevos negocios. **NEDGIA**

20:15 - 23:45 **CENA DE GALA.** (Patio Columnas ETSI Minas y Energía)

20:15 - 20:30 **Control de entrada**

20:30 - 21:15 **Cocktail y Networking**

21:15 - 23:00 **Cena de Gala.**

Discurso de Bienvenida: **Bill Kent (Director Ejecutivo de la AEE Internacional)** junto con **Javier Cervera (Director del Congreso iENER´19)**

Acto de Entrega de los Premios AEE Spain Chapter

23:00 - 23:45 **Espectáculo de magia**

*NOTA IMPORTANTE:*

*Todas las sesiones tendrán lugar en el salón de actos de la ETSI Minas y Energía, a excepción de los Tracks B que tendrán lugar en la Fundación Gómez Pardo.*

## DIA 27 DE JUNIO

9:00 - 9:30 **CONFERENCIA MAGISTRAL. "Evolución del cambio climático y las emisiones en el mundo, Europa y España"**

**Elvira Carles.** Directora de la **Fundación Empresa y Clima**

9:30 - 9:45 **CONFERENCIA."Lucha contra la pobreza energética: Comprometidos con las personas y el medio ambiente"**

**Pablo Navajo Gómez**. Director Formación y Medio Ambiente. **CRUZ ROJA ESPAÑOLA**

9:45 - 11:30 **SESIÓN 4 PLENARIA. ALMACENAMIENTO Y FOTOVOLTAICA**
Modera: D. Piet Holtrop. **Holtrop S.L.P. Transaction & Business Law**

"Gestión inteligente de almacenamiento en redes eléctricas de distribución". **Xavier Benavides Rel.** Chief Technology Officer. **AMPERE ENERGY**

"Drones, un futuro de Energías Renovables". **Angélica Bellver Climent.** Chief Technology Officer. **EMIN DRONE SYSTEMS**

"El futuro de la fotovoltaica: seguimiento bifacial". **Miguel Pozuelo Monfort.** Sales Manager Europe. **SOLTEC**

11:30 - 12:00 **Café / Networking**

12:00 - 12:15 **Continuación SESIÓN 4 PLENARIA**

"Contratos Tipo PPA" **Jaime Jaquotot Núñez. JOTA QUATTRO ADVISORS S.L.**

12:15 - 14:15

**SESIÓN 5 Track A. NZEB y MOVILIDAD**
Modera: David de Diego

"Retos medioambientales en el transporte marítimo, soluciones energéticas". **José Poblet.** Gerente. **COTENAVAL**

"LNGonwheels, una propuesta innovadora de suministro de GNL a pequeña y mediana escala en zonas de difícil acceso" **Miguel Duvison Santiago.** Lng Project Manager. **NATURGY**

"Protocolo de energía del Ayuntamiento de Barcelona: regulación local nZEB de los edificios municipals" **Christian Escrig Pérez.** Técnico en Eficiencia Energética. **AYUNTAMIENTO DE BARCELONA**

"El coche electrico y su papel en la descarbonización" **Javier Tomás.** Director Universidad Corporativa. **POWER ELECTRONICS**

**SESIÓN 5 Track B. INDUSTRIA 4.0 y BIG DATA**
Modera: Antonio Miranda

"Sistema experto para evaluación digital e inteligente de la eficiencia energética industrial" **Andrés Lluna Arriaga.** Resp. Industria y Eficiencia Energética **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ENERGÍA**

"Las redes de iluminación: la nueva herramienta de gestión para la industria 4.0" **Gabriel Butler Monterde**. CEO Grupo Geniadabar SL. **GENIA GLOBAL ENERGY**

"Auditoría Preliminar o de nivel I según ASHRAE: una herramienta poderosa para ahorro de Energía" **José Samuel Monterroso. Gerente. ECONOVA**

"Proyecto Smart Campus en la Universidad Rey Juan Carlos: implantación de la metodología BIM y tecnologías IoT para la gestión eficiente de los activos inmobiliarios". Javier Orellana. Gestor Energético Unefe. **José Miguel Luna.** Resp Desarrollo Producto. **UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS (URJC).**

# PROGRAMA

14:15 - 15:30 **Comida / Networking**

15:30 - 15:50 **CONFERENCIA MAGISTRAL."Real Decreto de Autoconsumo"**

**Joan Groizard Payeras.** Director de energías renovables y mercado eléctrico. **IDAE**

15:50 - 17:50

**SESIÓN 6 Track A. EFICIENCIA y EDIFICACIÓN**

Modera: Isabel Cebrián. **ENDESA**

"Evaluación de las zonas climáticas utilizadas en España y dinámica de cambios en el H2100. Adaptación de la edificación" **Carmen Díaz López.** Investigadora **UNIVERSIDAD DE GRANADA**

"Redes de agua caliente y agua fría. La importancia del equilibrado garantizando las presiones diferenciales y los caudales de contrato" **José Franciso Andreu Yela.** Jefe de Ventas. **SAMSOM**

"Comparativa del consumo energético en viviendas con diferentes estándares pasiv, tras un año de implantación" **José María Guerra Romero**. Director de Expansión. **GARCÍA DE CELIS**

**SESIÓN 6 Track B. MyV y COMISSIONING**

Modera: Rafael Poquet. **EMIN.ENERGY**

"Establecimiento y control de criterios que aseguren la calidad en los procesos de Commissioning" **Juan Manuel García Sánchez.** Gerente de Energía. **AENOR**

"Aplicación del Commissioning en las Certificaciones Sostenibles Leed" **Josep Masach.** CEO. **PROISOTEC ENGINYERIA**

"Mejora de la eficiencia de las plantas mediante sistema de monitorización TecOS-SOLCEP" **Francisco Javier González** Responsable Operaciones. **TECNATOM**

"Caso práctico de aplicación del retrocommissioning en un aulario de la Universidad Rey Juan Carlos" **Javier Orellana Sanz.** Gestor Energético Unefe **UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS (URJC)**

"IPMVP para calcular los ahorros, pero ¿puede haber 10% de diferencia en ahorro en Coste Evitado vs Ahorro Normalizado?" **María Cubillo Sagüés.** CEO. **SinCeO2 CONSULTORÍA ENERGÉTICA**

17:50 - 18:00 **CLAUSURA**

*NOTA IMPORTANTE:*

*Todas las sesiones tendrán lugar en el salón de actos de la ETSI Minas y Energía, a excepción de los Tracks B que tendrán lugar en la Fundación Gómez Pardo.*

Te esperamos en el Congreso de Ingeniería Energética

iENER ¡ENCUENTRO PENSADO PARA TI !

9:35 - 10:00 **CONFERENCIA MAGISTRAL "El futuro sostenible del gas natural"**

Claudio Rodríguez. Director General de Infraestructuras **ENAGÁS**

# El Gas Natural

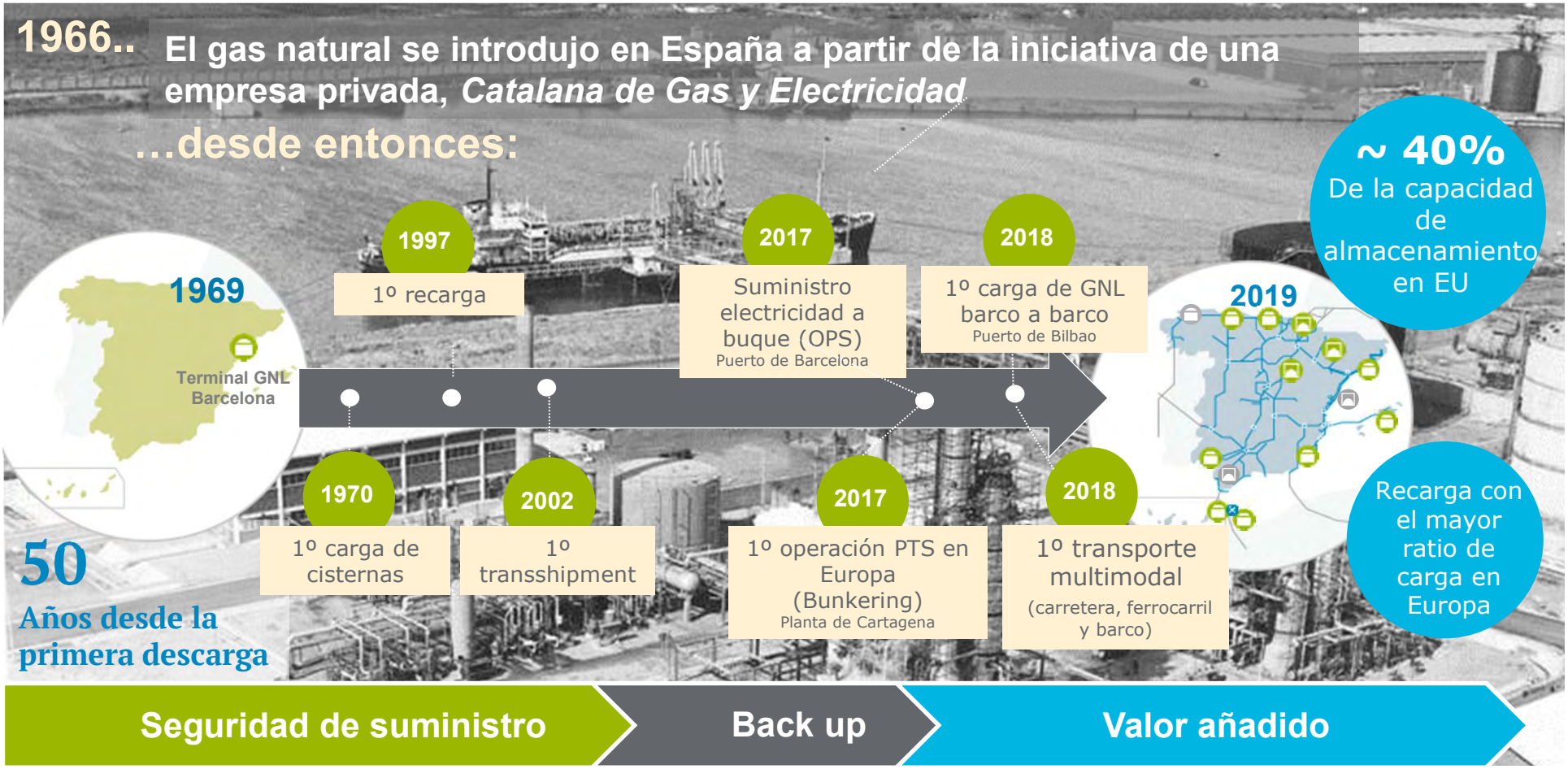
## Un Futuro Sostenible

**26 de Junio 2019**

iENER'19
II Congreso Ingeniería Energética

# El Desarrollo de la Resiliencia…

# Historia del Gas Natural



# **Enagás,** una compañía líder en infraestructuras de GNL

**+45 años gestionando infraestructuras GNL**
La industria del GNL tiene una antigüedad de 50 años

## 1 Primera empresa mundial en nº de plantas gestionadas

4 países, 8 plantas en operación, 3 en proyecto

**EN PROYECTO**
**2 Plantas Islas Canarias**
**2 Plantas en Suecia**

**MEXICO**
**TLA Altamira LNG Terminal** (40%)
300.000 m3 GNL
800.000 m3(n)/h

**ESPAÑA**
**Presente en 6 Plantas**
3.316.500 m³ m3 GNL
7.250.000 m3(n)/h

**CHILE**
**Quintero LNG Terminal**
(majority shareholder)
334.000 m3 GNL
625.000 m3(n)/h

## 2 Primera empresa europea por capacidad

Enagás gestiona el 30% de la capacidad operativa de regasificación total de Europa.

## 3 Primera empresa europea en introducir nuevas soluciones logísticas y por nº operaciones realizadas

Primera operación de carga de cisternas
Primera operación de recarga de buque
Primera operación de Transhipment
Primera descarga completa de un Qmax
Primera operación de bunkering PTS y STS

Capacidad de almacena -miento a demanda

Precio competitivo

Back-up de energías renovables

Combustible alternativa del sector transporte

Tecnolocia maduro: Probada y fiable

Logistica resiliente y flexible

Bajas Emisiones

# El Gas Natural ante la Transición energética

**"Lost in transition"**

El sector marítimo tiene una **huella de carbono que supone el 13% del total del transporte**

Muchos armadores están optando por el **"wait and see"**, esperar a que llegue el **1 de enero de 2020**.

La conversión de buques a GNL ha sido **sólo del 0,3%** durante los últimos 10 años.

Del total de combustibles alternativos utilizados para bunkering, en 2017 **el GNL solo suponía el 0,03%.**

**Un "Advocacy" que llega tarde.**

**Previsión de buques con GNL**

2019 habrá:

139 en operación

74 encargados

112 LNG ready.

Figure 8 – Ships with alternative technologies in operation and on order, December 2018

De los 3.000 buques en operación o encargados, únicamente un **5% son de GNL.**

# Situación actual: Los prejuicios sobre GNL

El sector de GNL es percibido como **"caro"** y de **no ser tan "verde"** en materia de emisiones

**Coste logístico:** cadenas logísticas flexibles y eficientes podría optimizar los precios: buena parte de la infraestructura y la logística ya existe – CAPEX adicional y por tanto impacto de este sobre el precio existente es muy bajo y rápidamente amortizable**.**

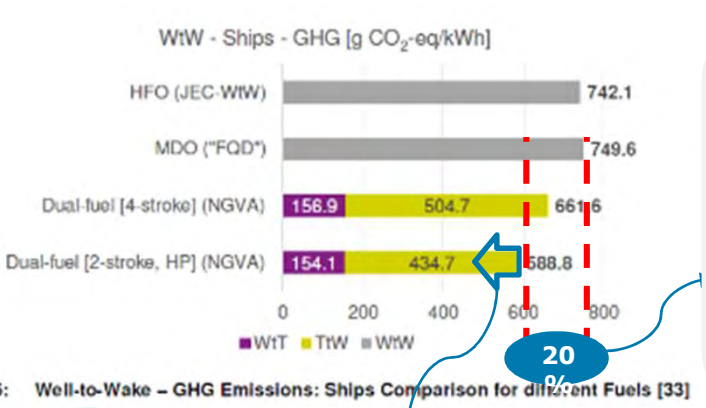



Figure 7-6: Well-to-Wake – GHG Emissions: Ships Comparison for different Fuels [33]

**Cadenas logísticas eficientes podría aumentar este margen.**

Actualmente existe una **incertidumbre** en cuanto al peso real de las emisiones de metano presentes en el GNL

→ **no existe una metodología clara de medición por consenso.**

→ Estudios recientes muestran que la cadena de **GNL es más limpia que lo demás combustibles fósiles.**

# Hacia un Futuro…¿Sostenible?…

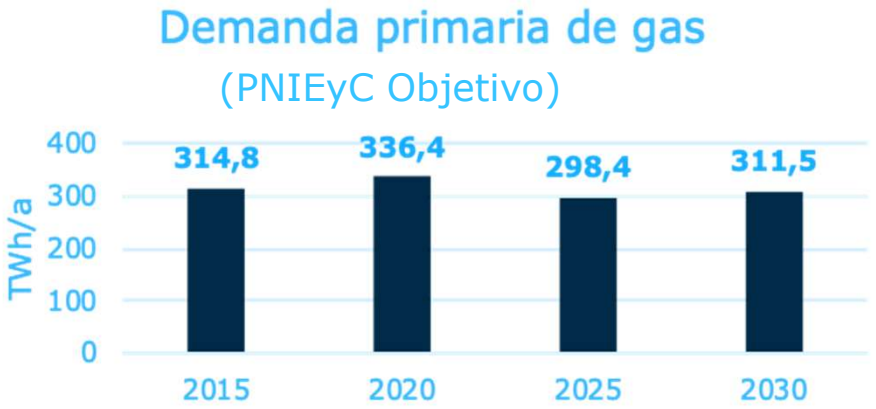
# Situación actual: Transición ecológica

- El Gas Natural se encuentra ante **una situación de transición energética** en la cual se le **exige retos tanto de competitividad como de mejora de la incertidumbre** sobre su capacidad de abatimiento.

- En este sentido marco, se ha publicado el **Plan nacional integrado de energía y clima (PNIEyC) 2021-2030** donde se plantean objetivos más ambiciosos que los que establece Europa.

**Rol del GN según el PNIEyC**

**CAGRs 15-30**




A pesar de que el PNIEC plantea un escenario muy ambicioso con un sesgo tecnológico **claro en favor de la electrificación y las renovables eléctricas**, limitando el rol del gas natural y de sus infraestructuras, los resultados para el **gas natural permiten concluir que juega un rol indispensable en nuestra economía, hoy, y a futuro.**

# Rol de GN según el PNIEC (I)

## Usos industriales (sin cogeneración)

**El gas natural es el combustible que más aumenta su cuota 5 p.p.** (del 37% de 2015 al 42%), por delante de las renovables.

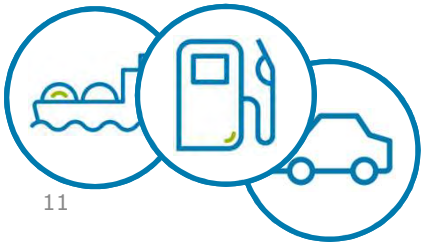
**El gas es insustituible en procesos con elevadas necesidades de potencia térmica.**

## Residencial y servicios

**Segmento de consumo** que más sufre frente al tendencial debido a políticas muy ambiciosas de eficiencia, electrificación y renovables.

A pesar de ello, su demanda se mantiene **en valores muy similares a los de 2015**, lo que le permite incluso ganar 3 p.p. de cuota.

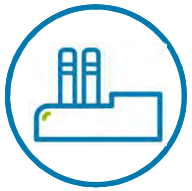
## Transporte



Pese a que el PNIEC tiene un claro sesgo tecnológico en favor de la movilidad eléctrica, **el gas en este segmento crece rápido (5% CAGR 2015-2030).**

# Rol de GN según el PNIEC (II)

## CCGTs



## Cogeneración

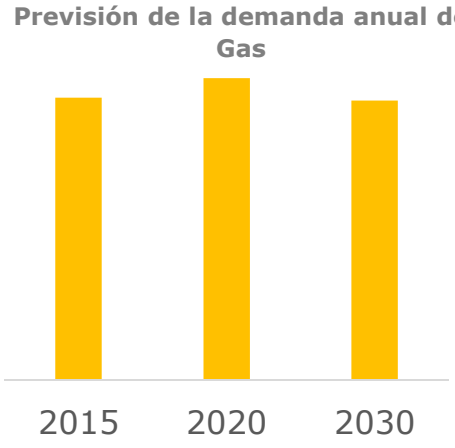
A pesar de los niveles de penetración tan altos de energía renovables, **es necesario mantener la potencia actual de los ciclos combinados**, favoreciendo una demanda en 2030 ligeramente superior al 2015 (niveles similares al 2018) con una utilización distinta, sujeta a mayor volatilidad.

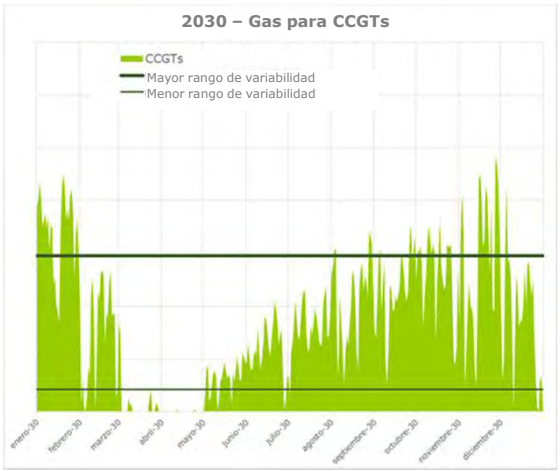
**No hay una apuesta clara por la cogeneración de alta eficiencia**, lo que se traduce en el cierre de más de una cuarta parte de la potencia actual. La potencia instalada de cogeneración se reduce desde los 4.055MW de 2015 hasta 3.000 MW en 2030 en el escenario objetivo.

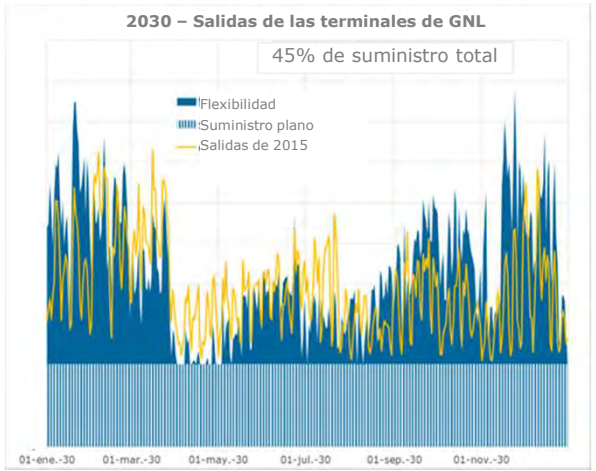
# 2030: Las infraestructuras gasistas sustentan el sistema energético

En 2030, **la demanda de gas natural** en España se mantendrá a los niveles actuales.

**La flexibilidad de las** CCGT implica consumos en punta más bruscos desde las plantas de GNL: estas terminales deberían estar **siempre disponibles** para cumplir con los requisitos de los usuarios.




**La disponibilidad de capacidad de almacenamiento** de GNL y los ajustes de fase de los vaporizadores de salida en operación son **servicios clave** para el sector energético.

Operación enfocada hacia el **acoplamiento del sector gasista y el sector eléctrico**.

# Rol de GN según el PNIEC (II)

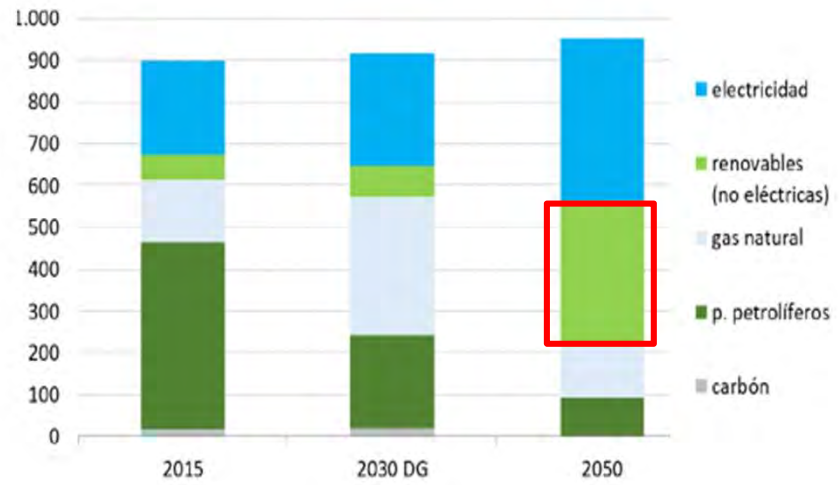
A pesar de mantener los niveles de consumo de gas natural actuales, el **plan no refleja la relevancia del gas natural el proceso de transición hacía una economía neutra en carbono**.

**Relevancia que debería ser mayor** en el horizonte 2021-2030, ya que **el gas es una solución real, disponible, económica y ecológica a día de hoy**, que permite una **mejora inmediata dada su variedad de usos**: generación, calefacción, movilidad terrestre y marítima.

# Emisiones GEI en España: perspectivas

En un escenario de neutralidad de carbono a 2050, la electricidad supone menos del 50% de la energía para usos finales en España.

**Demanda de energía para usos finales (TWh)**



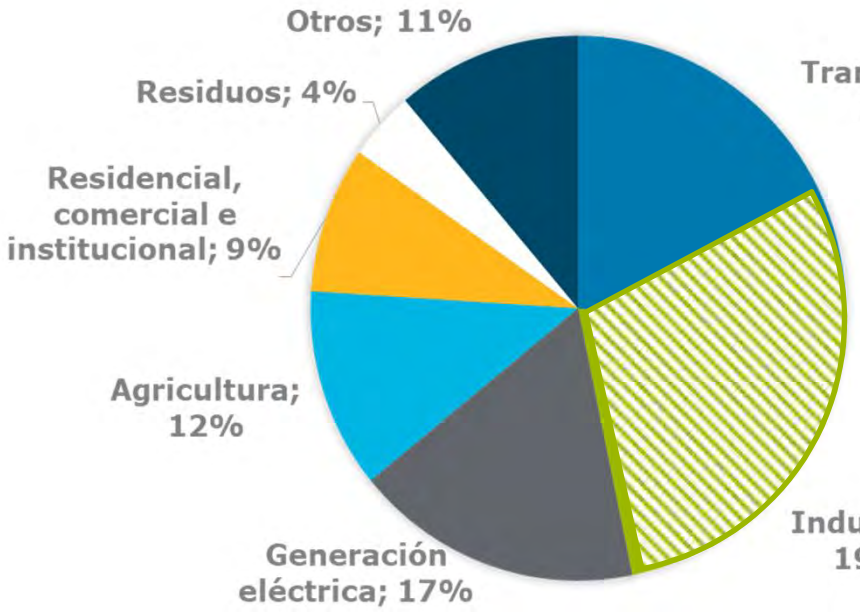

Fuente: Comisión de Expertos de Transición Energética, "Análisis y propuestas para la descarbonización" (abril 2018)

**Las tecnologías renovables no-eléctricas (biometano, hidrógeno, etc.) están llamadas a cubrir más de un 30% del consumo de energía final a 2050**

# Emisiones GEI en España: sectores

El sector transporte y la industria representan el 46% de las emisiones en 2018 y han crecido más del 2% cada uno. Las emisiones de la generación eléctrica bajan un 16% porque la energía hidráulica subió un 85%.

**Emisiones de gases efecto invernadero por sectores**




**~ 30% emisiones en sectores difíciles de descarbonizar (industria, transporte pesado, etc.)**

Fuente: INE, www.epdata.es

# Estrategia para los gases renovables

- ✓ Los gases renovables son una **solución viable para la descarbonización y el fomento de la economía circular.**
- ✓ De acuerdo a la visión de Gas for Climate, **el desarrollo de hasta 270 bcm de gases renovables en 2050** permitirá alcanzar **un sistema energético descarbonizado y basado** en energías renovables al menor coste

**A Corto-Medio Plazo**

## Biogás/ Biometano

- Se estima que en **2030 la producción de Biometano/Biogás cubrirá el 8%** de la demanda de GN a nivel Europeo.
- A 2050, el biometano puede suministrar hasta 1.010 TWh (95 bcm de gas natural equivalente) a un precio muy reducido(47-57 €/MWh).
- El biometano, **evitaría las emisiones de CH4 de sectores como agricultura y residuos,** cuyo valor total puede alcanzar 37.000 CO2 equivalentes, 46 veces más que las emisiones fugitivas de combustibles.

**Las infraestructuras gasistas continuarán asegurando la seguridad y flexibilidad del sistema energético, transportando y distribuyendo gases renovables (biometano e hidrógeno).**

**A Medio-Largo Plazo**

## H2

- El hidrógeno como **vector energético** complementario a la electricidad, se sitúa como alternativa limpia y renovable a otros combustibles, jugando un rol como "carrier" energético **ligando la interconexión del sistema gasista y el eléctrico como mecanismo de almacenamiento.**
- Existen **diferentes proyectos de I+D** para el despliegue de Infraestructuras de H2.
- El hidrógeno **puede suministrar hasta 1.710 TWh** a los sectores doméstico-comercial, industria, transporte y generación eléctrica.
- A 2050, los costes del H2 basado en la electricidad renovable puede reducirse a 52 €/MWh

* Información de Gas for climate y Ministerio para transición Ecológica.

# Conectando la producción de biometano al Sistema Gasista Español

1 TWh ~ 25 *micro*-Puntos de entrada

**Biogás**

**En relación con el total de regasificación del sistema (145 TWh/año) el biogás representaría 0,7%.**

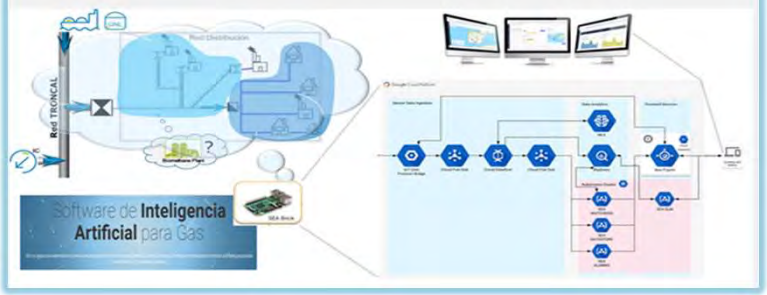
- Proliferación del **biometano en puntos de micro-entrada,** lo que requiere reconsiderar la red, la integración, el diseño y la operación del sistema gasista.

## Metodología de integración

Nuevos pilares de diseño:

- Capacidad de inyección en la red
- Gestión eficiente de la presión
- Control de calidad de suministro
- Reducción de impacto a cliente final

## Conexiones inteligentes




**La inyección a red de biometano** permite una correcta gestión del flujo y garantiza el *dispatching* de las plantas de producción, independientemente de las restricciones de consume locales

# Hoja de ruta para el biometano

**Experiencia de Enagás**

Parque de Valdemingómez: Dos plantas de procesamiento de residuos para biogás con una capacidad de producción total de 34 Mm3(n)/año.

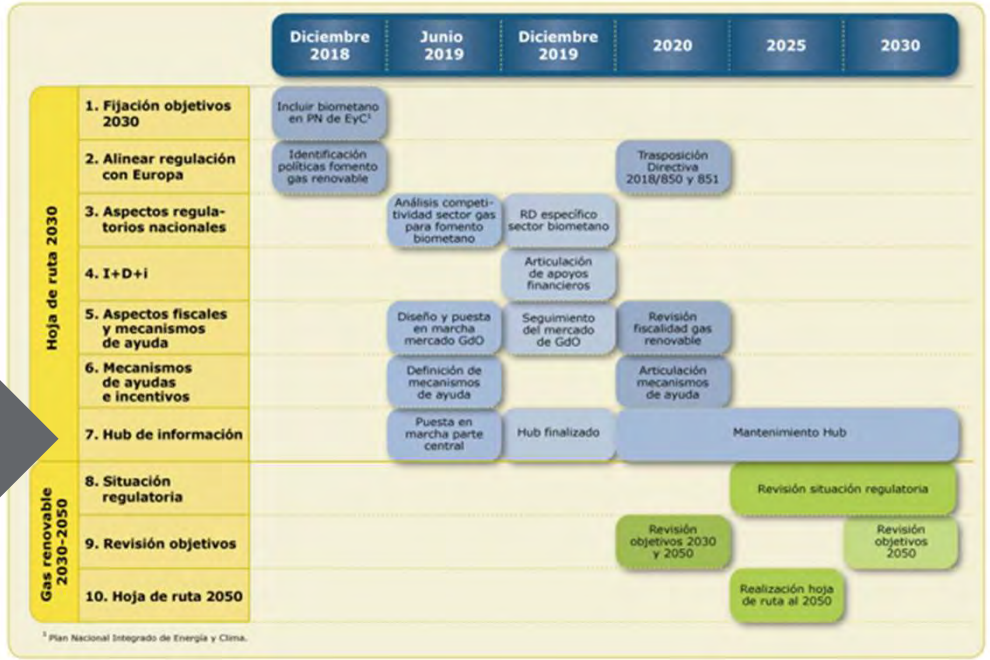
Inyección anual de 94 GWh de biometano en la red de alta presión de Enagás, en el punto de inyección de Vallecas, en Madrid.

Una de las plantas de producción más grandes de biometano de toda Europa, con una capacidad total de 4,000 m3/h de biogás, con un contenido en metano del 98%.

Evitando **467,273 toneladas de $CO_2$**

Lo que equivale a:
El consume de gas de **10,000 hogares**
o
Las emisiones de **190 autobuses urbanos**

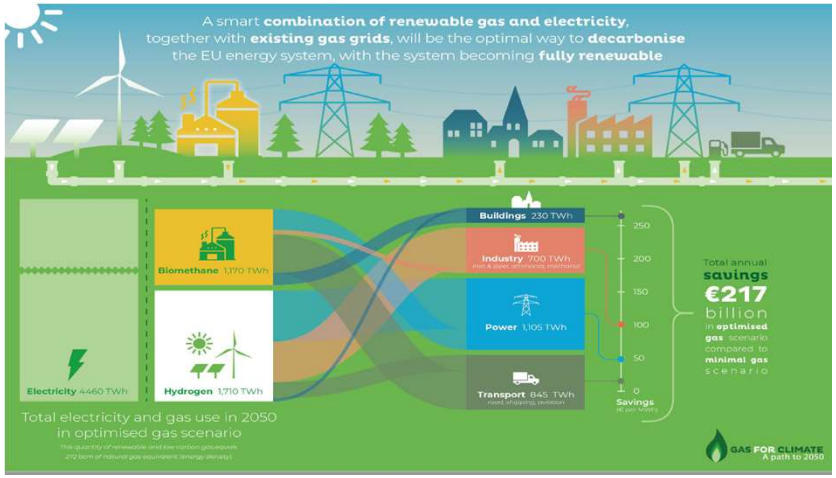
Enagás ha desarrollado una hoja de ruta para crear un ecosistema sostenible para el desarrollo de los gases renovables, favoreciendo su producción, movilizando los recursos financieros necesarios, facilitando la consecución de los objetivos de producción. El plan promueve en los aspectos más relevantes para conseguir los objetivos propuestos para el 2030, actuando como una etapa intermedia de desarrollo hasta 2050.



# ¿Qué más puede aportar el Gas Natural?

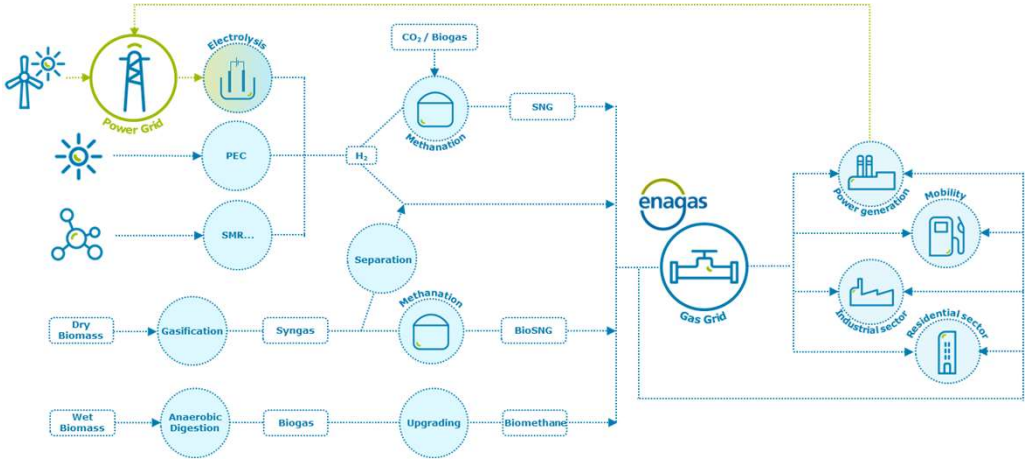
## Plan Nacional para el Biometano y el Hidrógeno,

- A imagen y semejanza de Alemania, Francia, Dinamarca, y otros países de la Unión, **es necesario tener a nivel país un Plan Nacional para el Biometano y el Hidrógeno,** el cual debe fijar **objetivos claros de penetración** de dichos vectores energéticos, **plazos de cumplimiento y senda u hoja de ruta** para su incorporación en la red gasista, así como crear **un sistema de garantías de origen**, que dará liquidez de mercado y ayudara al desarrollo del Hub Europeo de Gases Renovables de carácter transfronterizo.



# Hidrógeno: sistemas energéticos de cero emisiones netas

- A largo plazo, **el hidrógeno** resulta crítico para alcanzar la descarbonización:
  - ✓ En **los sectores más difíciles de descarbonizar** (procesos industriales de alta temperatura, transporte pesado)
  - ✓ **Almacenamiento estacional** de tipo *large scale*.
- **Enagás** está promoviendo el valor del hidrógeno en España, aliándose con organismos públicos y privados:
  - ✓ Condiciones técnicas para la **inyección** en la red gasista
  - ✓ **Tecnologías de conversión** (electrolizadores, micro-CHP).




Proyecto ECo

Proyecto HIPS-NET

Proyecto HYinject Project

SUN2HY

HYREADY

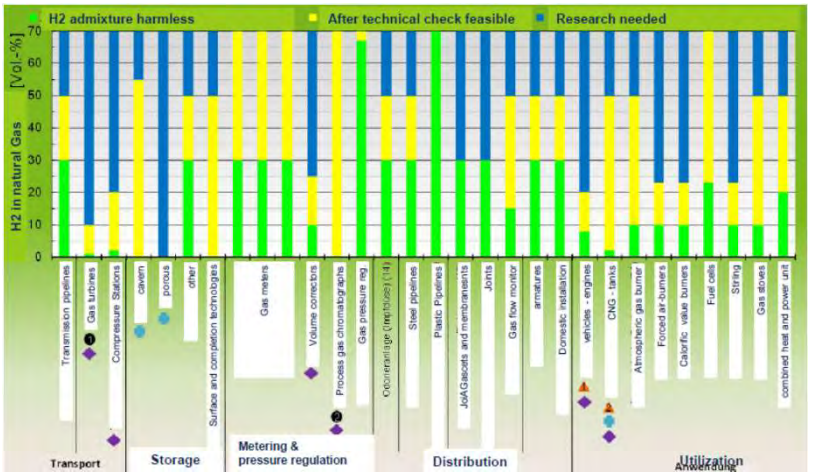
Power to Green Hydrogen (Mallorca)

Proyecto Cartagena

El hidrógeno es una energía **cada vez más competitiva** a medida que la descarbonización avanza.

# Hydrogen in the natural gas network

- EU natural **gas industry is committed** to allow the **maximum admixture of hydrogen** in networks
  - ✓ Many research projects in progress to define a safe and reliable admixture limit
- With current knowledge a **case by case assessment** of each injection operation is recommended
  - ✓ **2 vol.-% is generally accepted** as admissible with no relevant issues
    - ✓ Main constraint is to agree a billing procedure
  - ✓ **Broad parts of the infrastructure** and the end use devices are able to accept 10 vol.-% without modification
  - ✓ Gas utilization:
    - ✓ Residential & Commercial: up to 20 vol.-% for many appliances types.
    - ✓ Industrial: depending application
  - ✓ Gas storage:
    - ✓ Salt cavern: no great problem envisaged
    - ✓ Other: under investigation




Source: DVGW, 2014

# El dilema de la movilidad…

# Combustibles Alternativos

| | GLP* | GN* | BIO* | H2* | COMENTARIOS (* Directiva 2014/94 comb. Alternativos) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Seguridad del suministro** | ? | ✓ | ? | ✗ | • Frente a la demanda estimada, el GN no presenta limitaciones ni por reservas probadas ni por capacidad de las infraestructuras necesarias para su transporte y manipulación midstream.<br>• El biogas incrementa seguridad suministro en base local entre un 10 y un 16%. |
| **Precio** | ? | ✓ | ✗ | ✗ | • El GN presenta un precio más competitivo y estable: 50% respecto a diesel y desde un 60% respecto al H2. |
| **Capex** | ? | ✓ | ✗ | ✗ | • El GN es la única alternativa con infraestructuras de gran escala con capacidad y logística suficientes como para evitar inversiones adicioneles fijas para atender la demanda.<br>• A nivel vehículo, el efecto opex permite ROI<4 años. |
| **Eficiencia en uso** | ✓ | ✓ | ? | ✗ | • Equivalente al diesel, evitando las ineficiencias asociadas a la necesidad de sustitución de regenerador y baterías que precisan las soluciones en base H2. |
| **Emisiones** | ✗ | ? | ✓ | ✓ | • El GN reduce emisiones GEI y calidad aire ( hasta un 20% CO2 y sin Nox, Sox y PM).<br>• Capacidad de abatimiento adicional de hasta: 20% por reducción CH4 y/o 20% por mezcla con biometano. |
| **Madurez Tec.** | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | • El GNL es la única alternativa utilizable y económicamente viable para todos los segmentos de motores existentes.<br>• El H2 necesita madurar y desarrollar la tecnologia para segmentos HH y su viabilidad económica no es previble a medio plazo (>15 años). |
| **Seguridad de Uso** | ? | ✓ | ? | ✗ | • El GNL es más ligero que el aire y tiene un límite de inflamabilidad muy bajo, siendo equivalente, en caso de accidente, al resto de derivados del petróleo.<br>• El H2 en la movilidad presenta riesgos en la manipulación y en caso de accidente los niveles de riesgo son superiores por las elevadas presiones de trabajo. |
| **Hibridabilidad** | ✓ | ✓ | ? | ✗ | • El GN presenta una mayor ventaja competitiva al ser el único aplicable tanto por transformación como por sustitución de la motorización existente en todos lo segmentos de movilidad ferroviaria con el menor cambio tecnológico y el menor impacto en volumen y peso en lo relativo a almacenamiento de energía para asegurar un mismo nivel de autonomía. |

**CONCLUSIONES**: La solución a corto plazo es el **GNL**…¿+ biometano a medio e H2 a medio/largo ?

## El binomio motor de combustión interna alternativo-GNL es una solución tecnológicamente madura y competitiva a medio plazo…

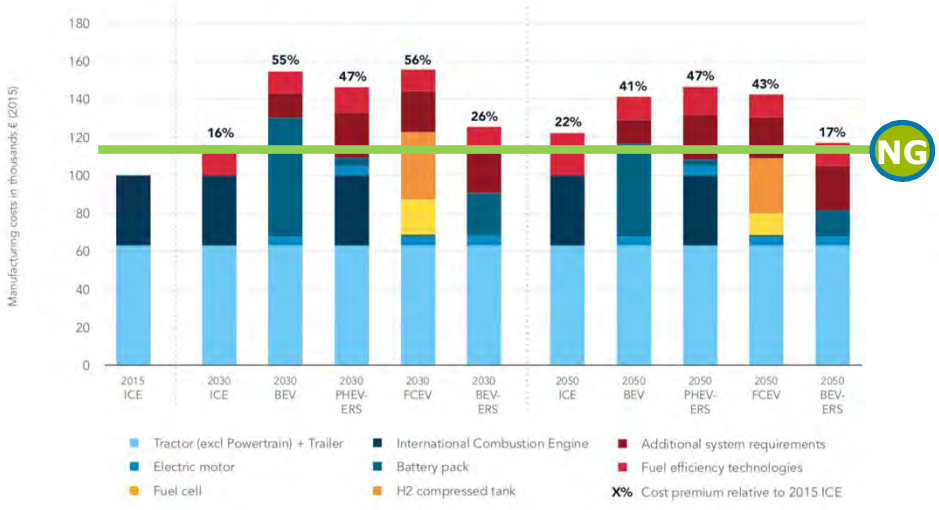



Figure 3. Upfront capital cost of various Heavy Heavy Good Vehicle (HHGV) types in 2030 and 2050 compared to a 2015 Internal Combustion Engine (ICE) technology.

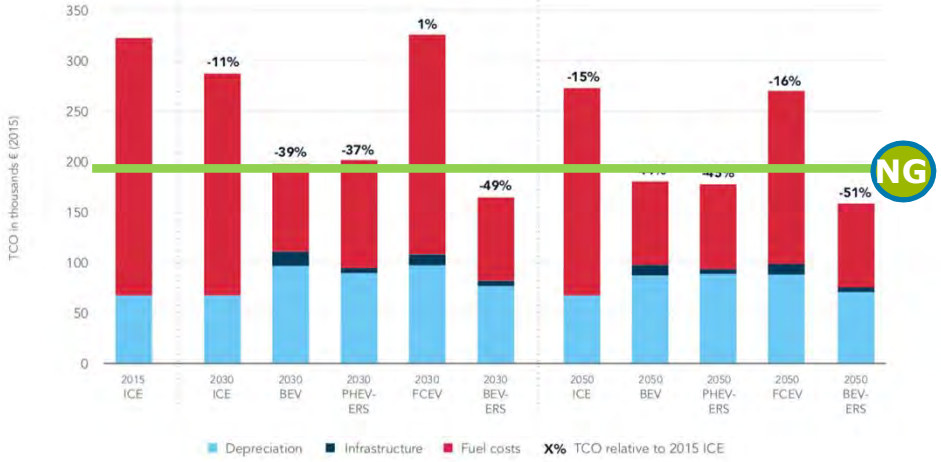



Figure 4. Total Cost of Operating a Heavy Heavy Good Vehicle over 5 years of various powertrains in 2030 and 2050 compared to a 2015 ICE truck.

- **A Bajas potencias extrapolación competitiva experiencia road (+ 26 MM vehículos)**
- **<u>Pero:</u>**
- A medias y altas potencias (tecnología sin sinergia con otros segmentos movilidad) la "dualidad" tecnológica utilizada, condiciona tanto la capacidad de abatimiento del GNL (desequilibrio CH4-NOx) como su competitividad frente a un diésel "mejorado" y más evolucionado.
- Incertidumbre impacto CH4 vs capacidad abatimiento ¿- 20% $\pm$ 10%?
- Desinterés fabricantes por desarrollo soluciones 100% GNL ante incertidumbre a medio-largo plazo.

# Combustible Alternativo

## Transporte Maritimo

### CORE LNGas hive Project

**42** Socios
9 Socios Públicos
13 Autoridades Portuarias
20 Socios Industriales

**2015-2020**
Periodo de tiempo

**25**
Numero de proyectos

**€33.3M**
Presupuesto total

Coordinador por:

## Transporte por Carretera

**ECOGATE Project**

- **Presupuesto : 19,7 Million € (financed with CEF funds)**
- **Presupuesto : 95 k€. Biometano residuos de lodos. (Equipo móvil)**

## Transporte Ferroviario

**RaiLNG Project (1170 kW)**

**Presupuesto : 4,8 Million € (financed with CEF funds)**

**Tarragona's Shunter Locomotive**

**Presupuesto: 0,25 M €**

**Automotor S2600**

**Presupuesto : 1,5 M €**

# 2030: Las infraestructuras gasistas sustentan el sistema energético

Las infraestructuras de GNL españolas han desempeñado un rol importante en el desarrollo del Mercado spot a través de **los servicios *large scale* de GNL**:

- **Localización geográfica estratégica** en el Mercado global de GNL como un destino de **recarga.**
- **Mercado de "*last resort*"**.
- Terminales **100% compatibles con cualquier tipo de buque de GNL**.
- Mecanismo de asignación de *slots* altamente flexible, **optimización de infraestructuras**.

Cartagena: La terminal Española con el mayor **ratio de recarga** (7,222 $m^3/h$)

**Nuevos desarrollos regulatorios** presentan la implementación de un **tanque virtual de GNL** en España.

**El tanque virtual de GNL español desempeñará un rol clave en el mercado.**

Además, **las actividades SS de GNL son clave** actualmente y hasta 2030.

**Adaptando nuestras infraestructuras a la evolución del mercado…**

**1) Adaptación de todas las infraestructuras de GNL para bunkering y *Small Scale*.**

**2) La primera fase del desarrollo del bunkering de GNL se ha realizado mediante operaciones *Truck-to-Ship* (TTS): 89 operaciones de *bunkering* TTS durante 2018/2019.**

**3) Huelva y Barcelona han completado cinco operaciones de recarga de buques para *bunkering* desde Marzo de 2019.**

**Proyecto CORE LNGas HIVE**

ADAPTACIÓN DE LAS TERMINALES DE GNL PARA *BUNKERING*

**Proyecto HIVE 2**

DESARROLLO DEL GNL COMO COMBUSTIBLE PARA EL TRANSPORTE MARÍTIMO

**La demanda SS crecerá rápidamente hasta 2030, alzándose como otro elemento clave en el sector del GNL. Se prevé aumentar en 2030 hasta 97 operaciones/año o 9.056 GWh/año representando un 7% de la actual demanda.**

# Evolución de la movilidad y emisiones asociadas

## SECTOR TRANSPORTE

- **Supone el 25% GEI Global (el transporte por carretera aporta el 20% del global y 75% del transporte).**
- **Reducción de emisiones CO2 horizonte 2050 fuertemente condicionada por:**
  - ✓ **Binomio motor/energía renovable (H2, baterías) no competitivo a corto ni viable a medio en segmentos HH.**
  - ✓ **Fuerte crecimiento demanda horizonte 2050 tanto en pasajeros (+ 54%) y mercancías (+ 210%).**
  - ✓ **Uso ineficiente de la intermodalidad (el transporte de mercancías por carretera ha crecido 6 veces más que por ferrocarril en los últimos 20 años).**

## SECTOR FERROVIARIO

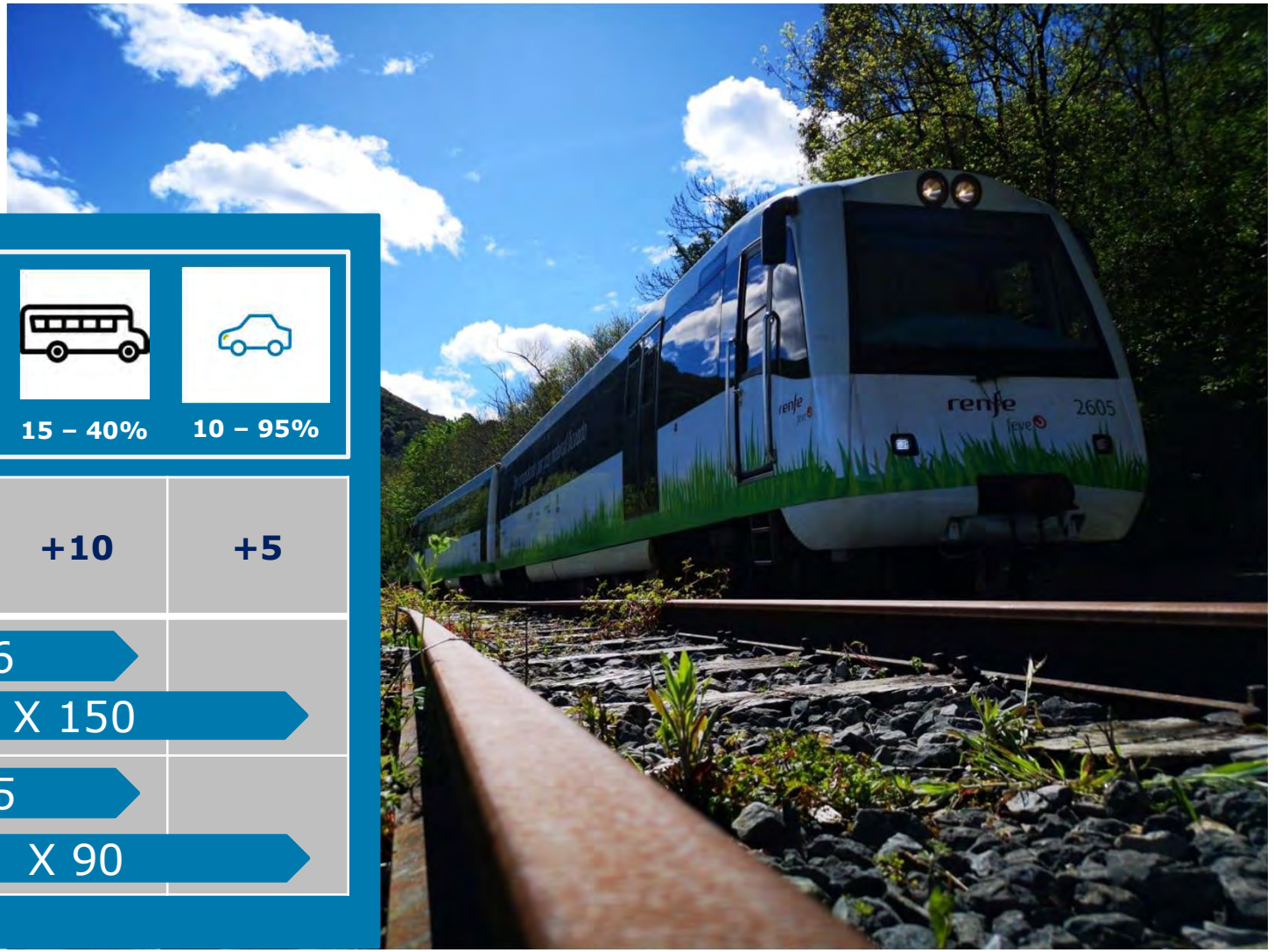
- **Supone < 2% GEI del sector transporte.**
- **Entre 7 y 9 veces más eficiente que el transporte por carretera.**

La recuperación del modal share (MS) por el ferrocarril es la palanca más competitiva para conseguir los **objetivos de abatimiento** sectorial de emisiones

| +1% MS | - 2% energía<br>-1,5% CO2 |
|---|---|

# LCA

| | DMU | | |
|---|---|---|---|
| GHG Fabricación | 15% | 15 – 40% | 10 – 95% |
| Vida útil | +30 | +10 | +5 |
| Capacidad | x6 | X 150 | |
| Emisiones | x5 | X 90 | |



# Hoja de ruta sectorial

➢ Hoja de ruta de la UIC: Estrategia

❑ **El UIC "Low Carbon Rail Challenge" ha establecido exigentes objetivos en el horizonte 2030 y 2050 tanto de reducción de emisiones como de mejora del "Modal Share" del FFCC.**

## Qué

**Desde el punto de vista "cualitativo"**

- **Mejorar la eficiencia**: reduciendo el consumo por nivel de demanda atendida (pasajeros-km; tonelada-km)
- **Reducir el impacto medioambiental de la actividad**: mejorando la calidad del aire en las áreas de influencia de la actividad.

**Desde el punto de vista "cuantitativo":**

| g/pKm o g/tKm | 2030 | 2050 |
|---|---|---|
| CO2 | -50% (*) | -75%(*) |
| Consumo | -50% (*) | -60% (*) |
| NOx + PM | -40% (*) | -100%(*) |
| Ruido y Vibraciones | Reduce | Reduce |

(*) respecto a 1990

## Cómo

➢ **Electrificación**

➢ **Mejora tracción DIESEL**

## + Pero... -

| | |
|---|---|
| ✓ Alta eficiencia<br>✓ Tecnología madura. | ✓ Elevado CAPEX (infraestructuras + vehículos)<br>✓ Rentabilidad limitada a infraestructuras de alta densidad de tráfico (tendencia +1%/año)<br>✓ Riesgo de cierre de líneas no rentables (impacto social vs migración medios transporte menos eficientes).<br>✓ No existe una solución única a nivel UE (intermodalidad limitada vs soluciones tritensión ó híbridas de alto coste). |
| ✓ Reducción emisiones vs tracción diésel convencional. | ✓ Incremento de peso y opex sistemas post-tratamiento.<br>✓ Evolución limitada a medio y largo plazo. |

## Consecuencias

- Focalización FFCC en servicios de alta demanda
- Empeoramiento Modal Share FFCC
- Sustitución por modos menos eficientes

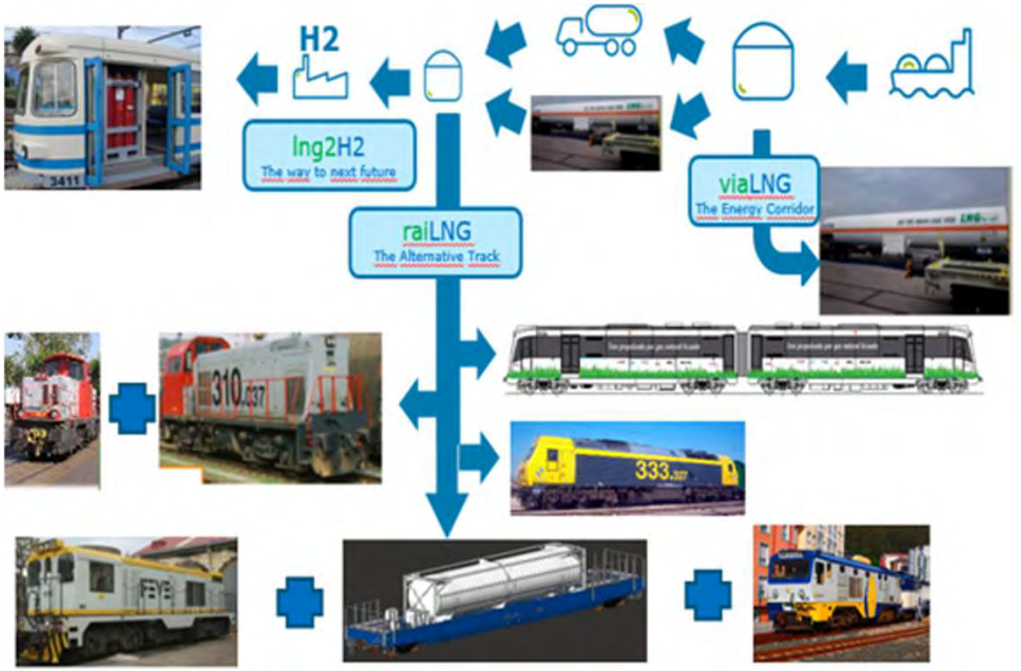
**¡Incremento Emisiones!**

# Hoja de ruta alternativa

- **Desde 2015** Enagás ha liderado el desarrollado diversas **iniciativas de I+D+i** en el ámbito de los combustibles alternativos en el ferrocarril, impulsando proyectos en todos los diferentes segmentos de tracción, para conseguir/desarrollar:

1. **Posicionamiento:** aprovechamiento del know-how técnico-logístico de Enagás para determinar el nicho de mercado potencial vs incremento utilización infraestructuras conforme Plan Logístico Comercial de la Compañía.
2. **Innovación:** desarrollo de una "Hoja de Ruta" que, a diferencia de las realizadas hasta la fecha, explore todos los segmentos de tracción y tipos de servicio, priorizando el desarrollo de soluciones modulares y fácilmente extrapolables e hibridables, que faciliten la implantación comercial y que, en su caso faciliten, la transición hacia vectores renovables, como el Hidrógeno, contemplados en la Estrategia de Transformación de Enagás.
3. **Regulación y seguridad. d**esarrollo de una propuesta regulatoria que considere el "ciclo de vida" del uso seguro y eficiente del combustible en el sector ferroviario: repostaje, utilización, y mantenimiento, coherente con las particularidades culturales del sector ferroviario.

## Hoja de ruta Renfe-Enagás-ADIF



**Turbina**

thinkstep

Table 5-23: Emission factors used in GHG calculations [35], [13]

| Emissions [g/GJ (LHV) fuel] | Natural Gas Turbine | Natural Gas Engine | Diesel Fuel Engine | Crude O Combustion |
|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ | 56 100 | 54 393 | 74 066 | 73 300 |
| $CH_4$ | 3.34 | 483.66 | 3.31 | 3.02 |
| $N_2O$ | 1.16 | 1.16 | 0.37 | 1.6 |

56.200(-25%) 67945(-10%) 74170

**-25%**

**Biometano**

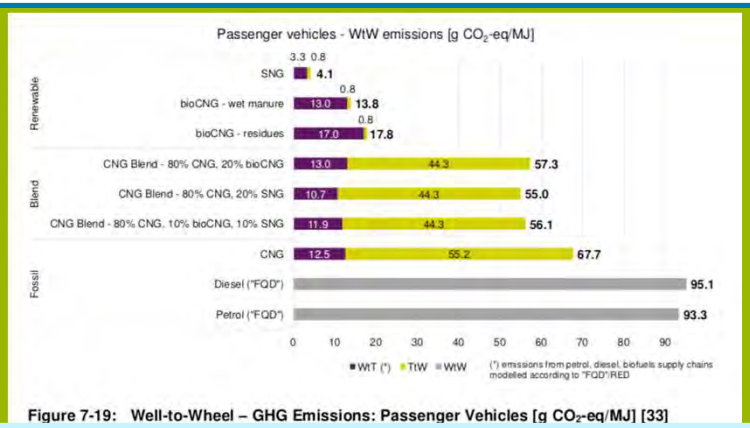


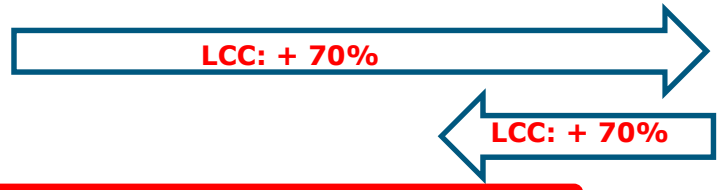

Figure 7-19: Well-to-Wheel – GHG Emissions: Passenger Vehicles [g $CO_2$-eq/MJ] [33]

**-85%**

**H2**

**-100%**

# Business Case DMU´s:




| | OTTO-GNL | MT-BIOGNC | MT-H2 | H2 | DIESEL-IIIB | ELECTRICO |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CAPEX-INF | 1,1 | 0,0 - ¿? | 3,0 | 3,0 | 0,0 | 16,0 |
| CAPEX-VEHIC | 1,1 (1) | 3,3 (1) | 3,3 (1) | 20,0 (1) | 0,5 (1) | 15,0 |
| OPEX (5) | 8,0 | 5,5 (4) | 14,3 – 19,6 | 20,8 – 28,5 | 14,5 | 4,5 |
| **LCC-O** | **10,2** | **8,8** | **23,0** | **47,0** | **15,0** | **35,5** |
| Externalidades | 0,25 | 0,15 | ¿? | 0,0 | 0,6 | 0,0 |
| LCC-T | 10,45 | 8,95 | ¿? | 47,0 | 15,6 | 35,5 |

**Nuestro planeta es una mota solitaria en la gran oscuridad cósmica que todo lo envuelve.**
**No hay ni un indicio de que vaya a llegar ayuda desde algún otro lugar para salvarnos de nosotros mismos.**
**La Tierra es el único mundo conocido hasta ahora que alberga vida.**
**Nos guste o no, de momento la Tierra es donde hemos de quedarnos.**

**Carl Sagan**

Muchas gracias

crodriguezs@enagas.es

enagas

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

10:00 - 12:00

**SESIÓN 1 PLENARIA.**
Modera: Guillermo Escobar. **NATURGY.**

"Gas renovable" **Francisco Javier Torres Calvo**. Responsable de la Unidad de Nuevos Negocios. **NEDGIA**

"El rol de los servicios digitales en la nube en los contratos de rendimiento energético". **Joan Vidal Rull.** Director Técnico Europeo de Eficiencia Energética. **HONEYWELL**

"A multi-HVAC system autonomic management architecture for smart buildings". **Nuria Gallego Salvador.** Directora Técnico Comercial. **FCC INDUSTRIAL**

"Servicio Integral de Eficiencia Energética – Auditoría, Monitorización, Seguimiento, Proyectos y Financiación". **Francisco Conesa**. Desarrollo de negocio. **ACCIONA**

# Gas Renovable

## Congreso IENER

Francisco Torres Calvo
Desarrollo Nuevos Negocios

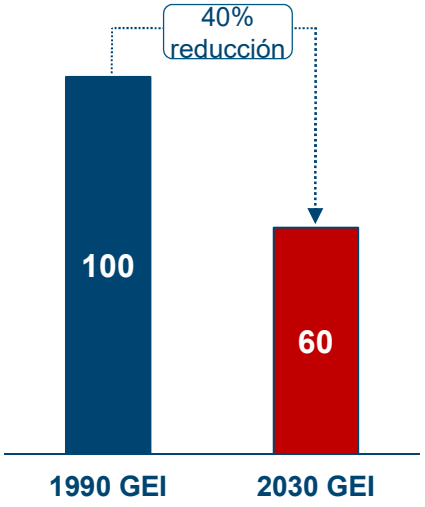
Junio 2.019

# Objetivos medioambientales globales

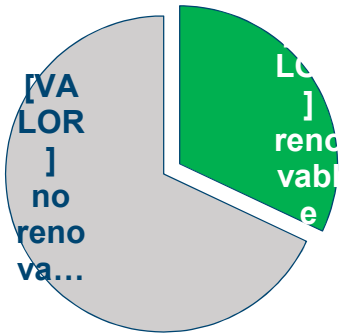
## La descarbonización: Objetivo clave de Energía y Clima de la UE

### Objetivos 2030

**Emisiones de gases de efecto invernadero base 100**

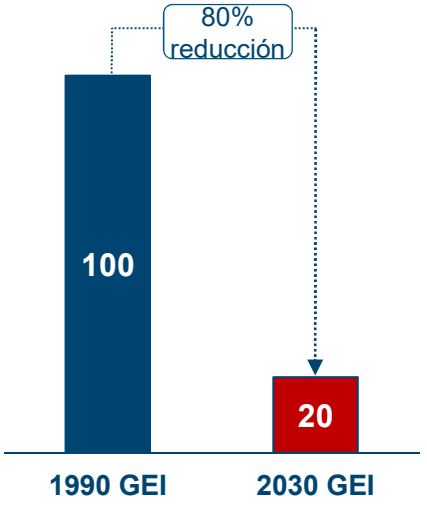



**Consumo final de energía**




### Objetivos 2050

**Emisiones de gases de efecto invernadero base 100**

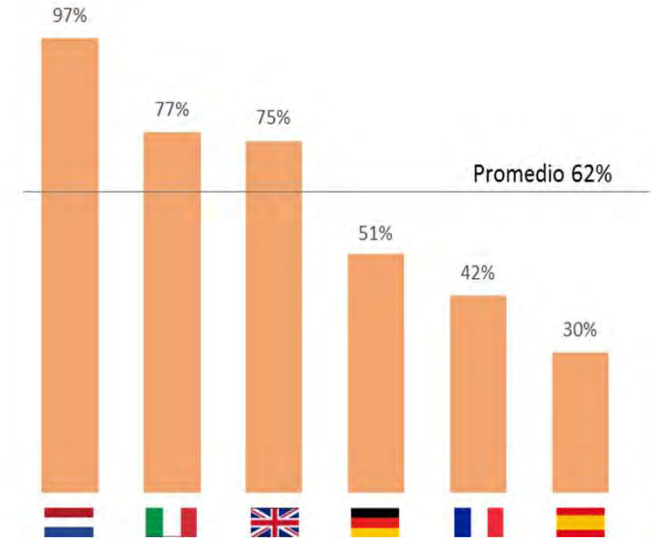





*Fuente: Comisión Europea*

# Evolución numero de usuarios y saturación de gas natural

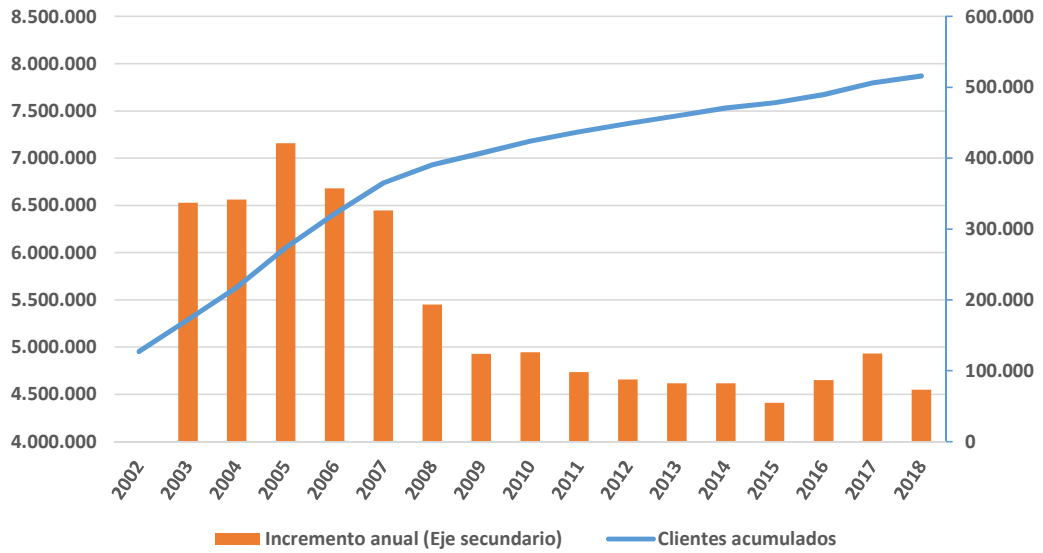
## Penetración de gas España vs Europa




Fuente: Eurogas y Eurostat. Año 2016.

En el caso de Francia se incluye una corrección por datos históricos.

## Evolución del número de clientes en el mercado de gas español

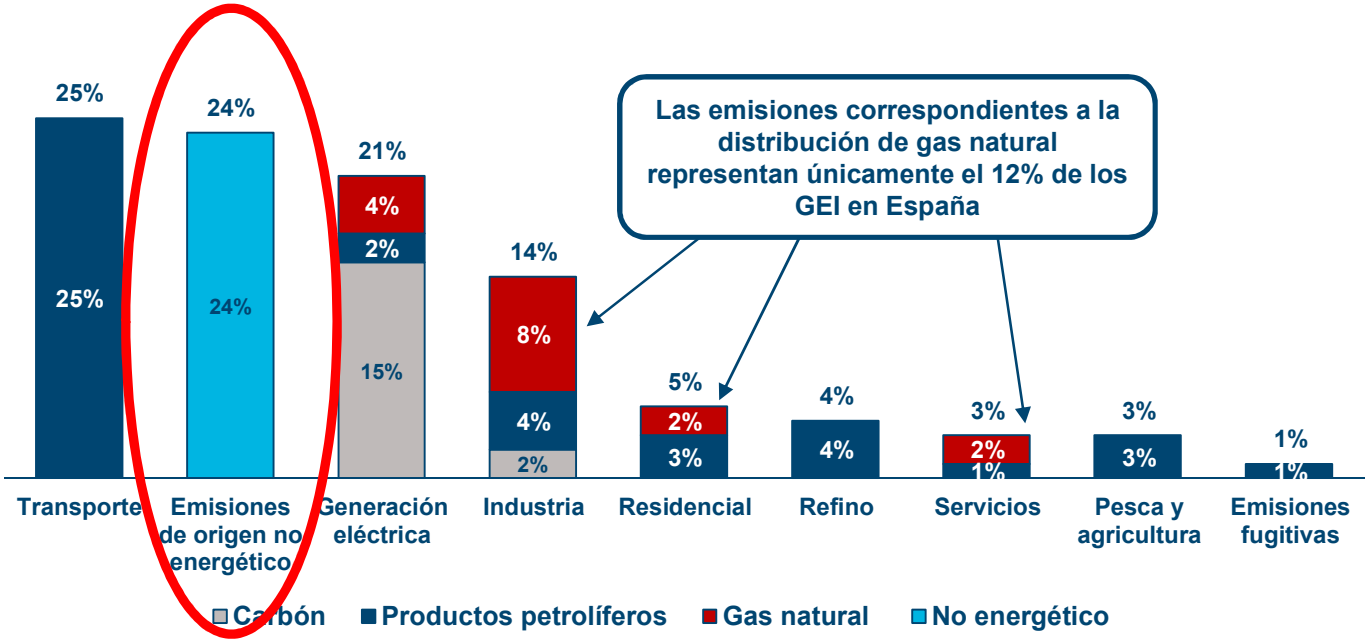



Fuente: CNMC INFORME DE SUPERVISIÓN DEL MERCADO DE GAS NATURAL EN ESPAÑA

# Emisiones de GEI por sector

La descarbonización del transporte y de las emisiones de origen no energético son fundamentales para lograr los objetivos establecidos

## Emisiones por sector económico y combustible en 2015 para España (%)

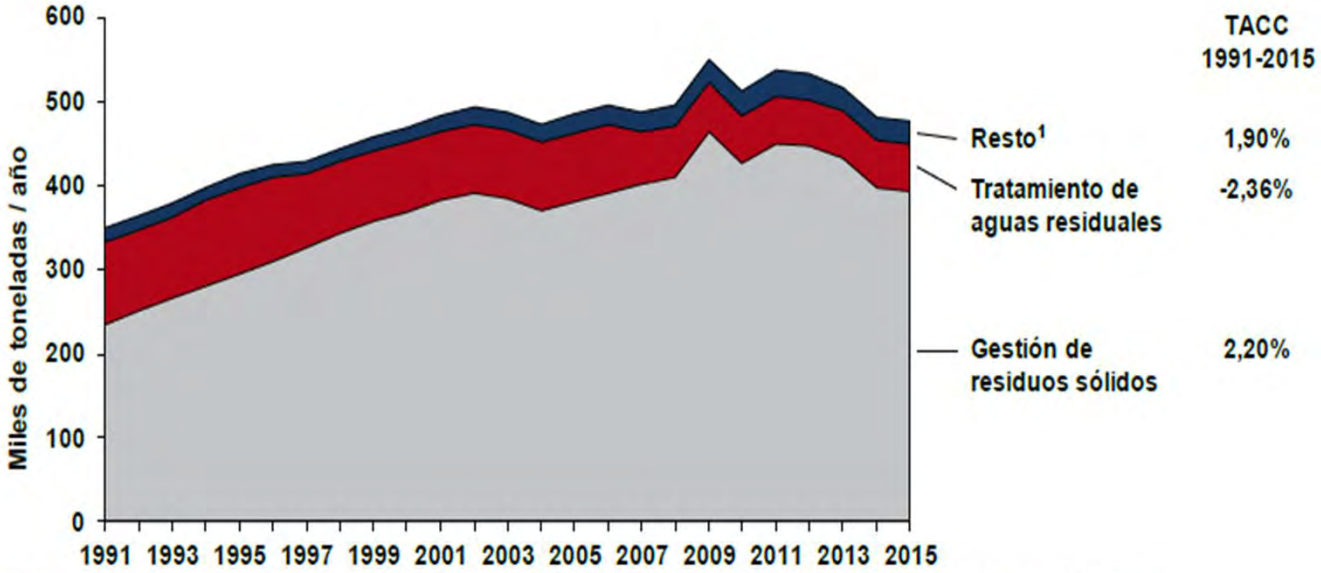





*Fuente: Monitor Deloitte*

# Referencia medioambientales

**Ilustración 14 - Emisiones de metano producidas por el sector de la gestión de residuos**



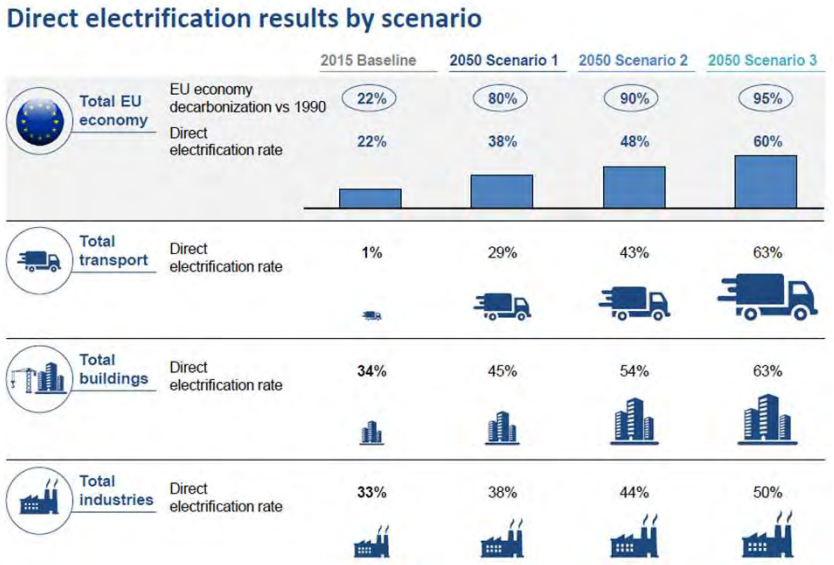

Nota: [1]En resto se incluyen la incineración de residuos, el tratamiento biológico de residuos y la categoría otros
Fuente: MAPAMA 2017; Análisis de CREARA

Por cada bcm de biometano recuperado de la biodegradación de la materia orgánica, e inyectado en la red, se evitaría la emisión a la atmósfera de unas 20 Mt de $CO_2$eq. El equivalente al 30% del objetivo de reducción del sector difuso.

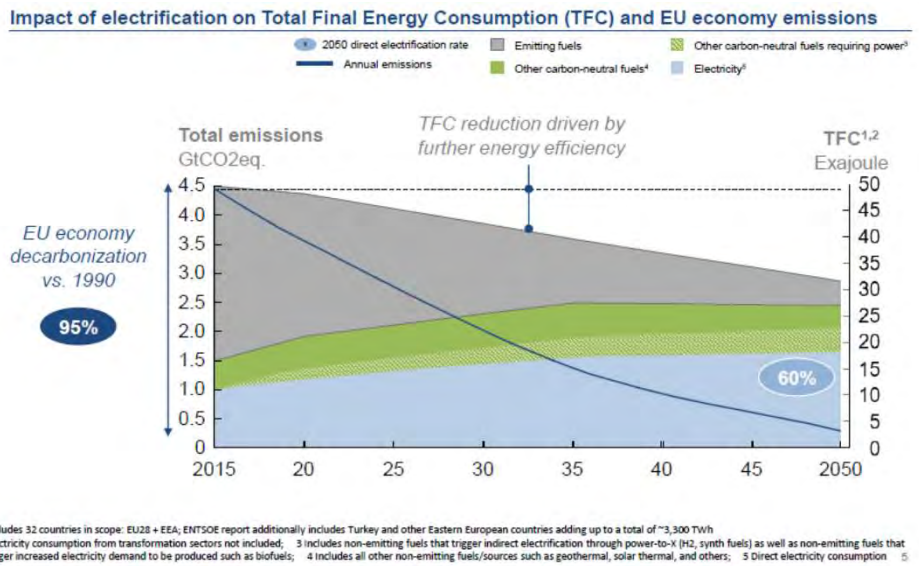
# Escenarios del Mix energético

El Gas Renovable es factor clave para conseguir los objetivos de descarbonización. La electrificación no será suficiente para lograrla.

## Electrificación por sectores




## Escenario de descarbonización al 95%




1 Includes 32 countries in scope: EU28 + EEA; ENTSOE report additionally includes Turkey and other Eastern European countries adding up to a total of ~3,300 TWh
2 Electricity consumption from transformation sectors not included; 3 Includes non-emitting fuels that trigger indirect electrification through power-to-X (H2, synth fuels) as well as non-emitting fuels that trigger increased electricity demand to be produced such as biofuels; 4 Includes all other non-emitting fuels/sources such as geothermal, solar thermal, and others; 5 Direct electricity consumption

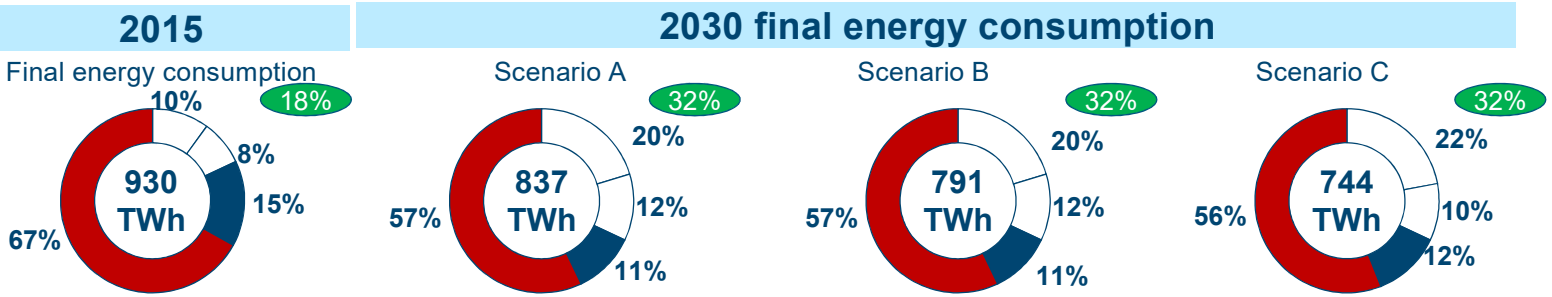
Incluso en un escenario ácido de descarbonizacion (-95%), los eléctricos estiman una cobertura máxima del 60% de la demanda



*Fuente: Eurelectric: Decarbonization pathways*

# Escenarios del Mix energético

España requerirá desarrollar entre 27 y 42 TWh de energía limpia adicional a la electricidad para cumplir un 32% de energía renovable en el consumo final




| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| % energía renovable en el mix de generación | | ~40% | 65% | 65% | 65% |
| Electrification | Res/Com | 40% | 45% | 45% | 45% |
| | Industry | 35% | 38% | 38% | 38% |
| | Transport | 2% | 15% | 15% | 20% |
| Energy efficiency | | | 10% | 15% | 20% |
| **Additional renewable energy (TWh)** | | | **42,2** | **39,8** | **27,5** |

Electricidad Renovable | Otras Renovables | Electricidad no Renovable | Otras no Renovables

*Fuente: elaboración propia con base en*
*2015: Deloitte*
*2030: Nedgia*

# Coste-beneficio descarbonización con gas renovable

…Aunque podría generar ahorros de 138 k millones de EUROS en 2050 si se analiza su impacto en todo el sector energético

## Escenarios comparados

| | Electricity only | Electricity with renewable gas |
|---|---|---|
| Space heating & insulation | Costs for heat pumps and low-temperature delivery<br>Costs for renovations to extremely high level | Costs for combination of heat pumps and gas boilers<br>Costs for renovations to high level |
| Transmission & distribution | Costs of maintaining and expanding the electricity grid<br>No costs for gas grid | Costs of maintaining and (to a lesser extent) expanding the electricity grid<br>Costs of maintaining the gas grid |
| Electricity production | (CAPEX and OPEX) for required wind, solar, and biomass generation | (CAPEX and OPEX) for required wind, solar, biomass and renewable gas generation |
| Storage | Costs of non-gas storage | Costs of gas storage |
| Total costs | **Electrification** | **Electrification with gas** |

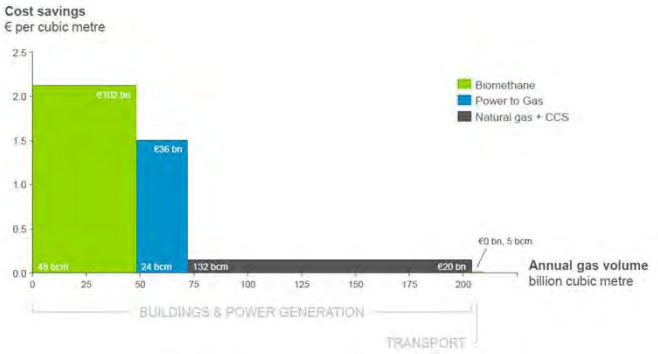
"Use of renewable gas can save €138 billion per year by 2050."

## Ahorros generados

Desglose por sectores

| Costs for | Sector | 'no gas' (bn. €) | 'with gas' (bn. €) | Cost difference (bn. €) |
|---|---|---|---|---|
| Heating technologies | Building | 210 | 173 | 37 |
| Insulation | Building | 180 | 159 | 21 |
| Energy production for heating | Building | 61 | 67 | -6 |
| Gas infrastructure cost | Infrastructure | 20 | 24 | -4 |
| Electricity distribution infrastructure | Infrastructure | 31 | 30 | 1 |
| Electricity transmission infrastructure | Infrastructure | 70 | 65 | 5 |
| Heat infrastructure cost for heating | Infrastructure | 37 | 37 | 0 |
| Electricity production | Energy | 386 | 302 | 84 |
| **Total** | | **995** | **857** | **138** |

Desglose por tecnología





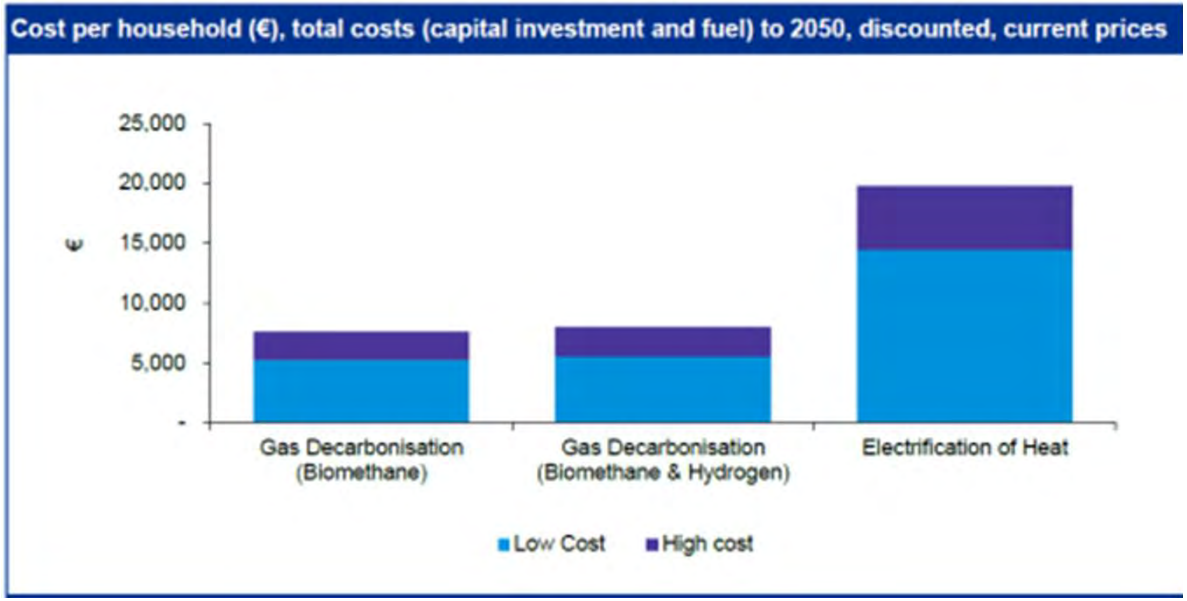

*Fuente: Ecofys*

# Coste-beneficio descarbonización con gas renovable

Estudio KPMG para GNI – Irlanda
http://www.ervia.ie/decarbonising-domestic-he/KPMG-Irish-Gas-Pathways-Report.pdf

| ESCENARIO | €/VVDA |
|---|---|
| **Biometano** | €5,300 a €7,666 |
| **Biometano + hidrógeno** | €5,500 a €8,000 |
| **Electrificación del hogar** | €14,350 a €19,600 |

La utilización de biometano en las redes de gas existentes es la forma más económica de descarbonizar los hogares



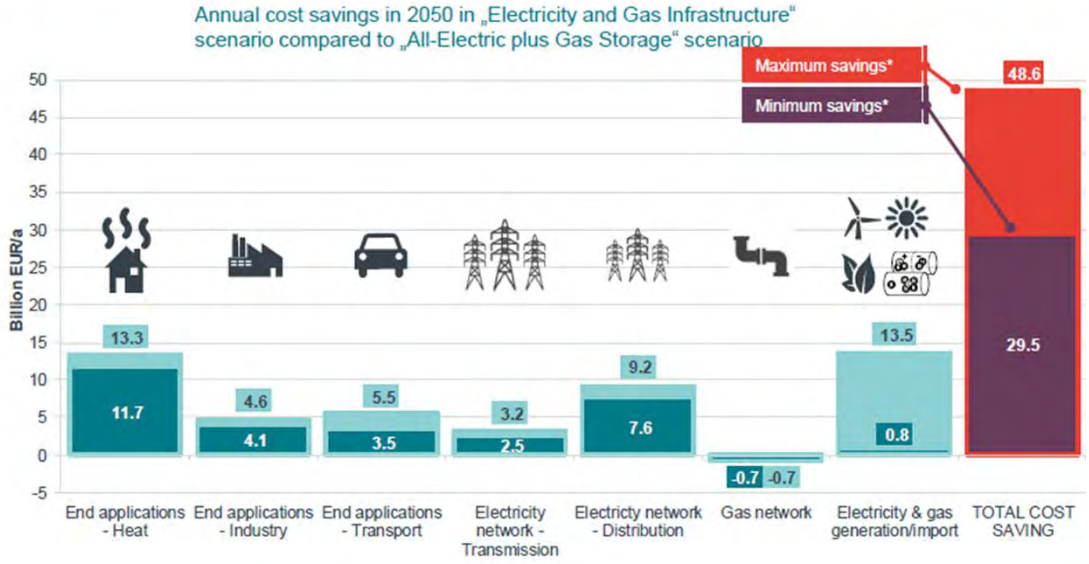



*Fuente: KPMG*

# Coste-beneficio descarbonización con gas renovable

## Estudio Frontier y la Universidad Técnica de Aquisgran de Alemania para 8 países europeos

**Results**: Use of gas grid can save **€ 30 to 49 billion per year** in the eight analysed countries by 2050…




… adding up to **€ 487-802 bn cumulated cost savings**** until 2050

frontier economics

* Interval of costs savings resulting from variation of assumptions on development of key input parameters (e.g. future cost of biomethane; gas import share).

** Assuming linear development path, real values.



nedgia Grupo Naturgy

enagas

- Desacople temporal entre demanda y radiación solar
- 1000 veces mayor almacenamiento gasista
- Flexibilidad de la red de gas para apoyar las renovables
- La solución más economómica a la descarbonización

# ¿Qué es el Gas Renovable?

Es un gas de origen renovable, con emisiones neutras de $CO_2$ y totalmente intercambiable con el gas natural tradicional.

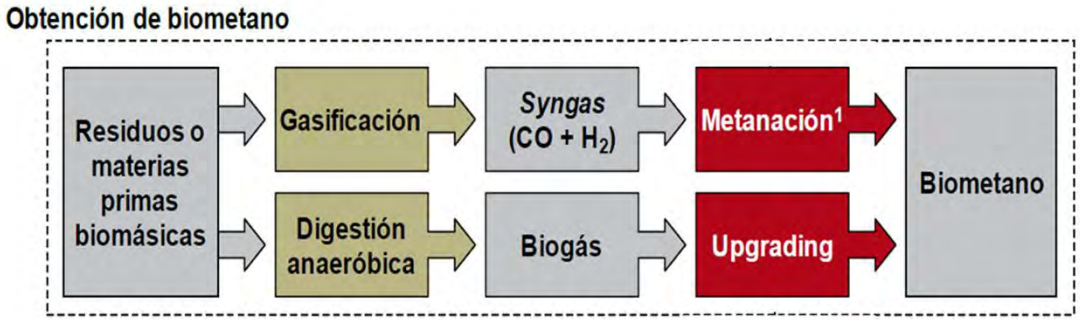
## Renewable gas characteristics

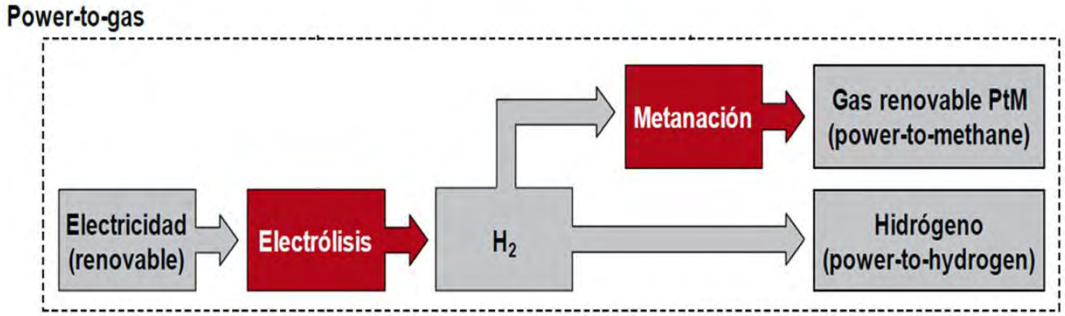
| | |
|---|---|
| Origen | **Renovable** |
| Emisiones $CO_2$ | **Emisiones neutras de $CO_2$ e incluso negativas** |
| Usos | **Intercambiable con el gas natural** |

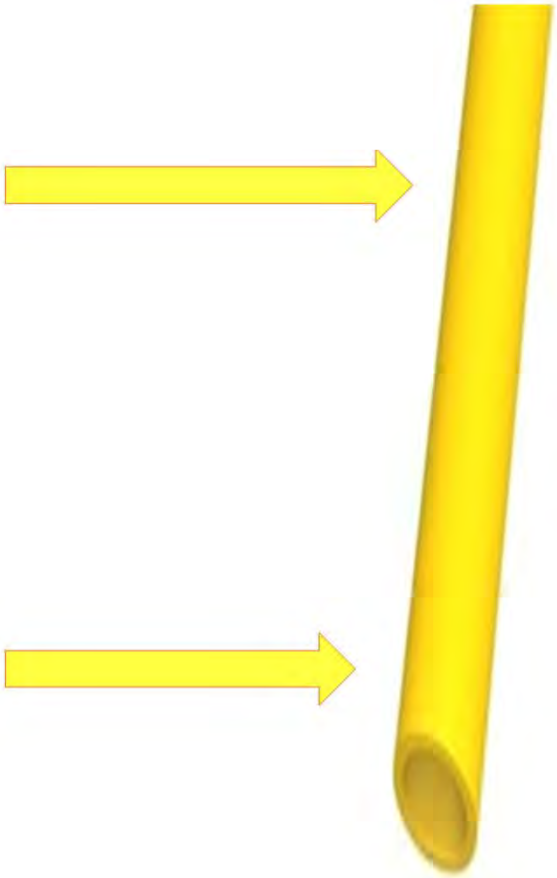
## Production options

| | | Market maturity |
|---|---|---|
| A | Biogas (Digestión anaeróbica) + upgrading | Alta |
| B | Gasificació de la biomasa (Gasificación térmica) | Baja |
| C | Power to methane & power to hydrogen | Baja |

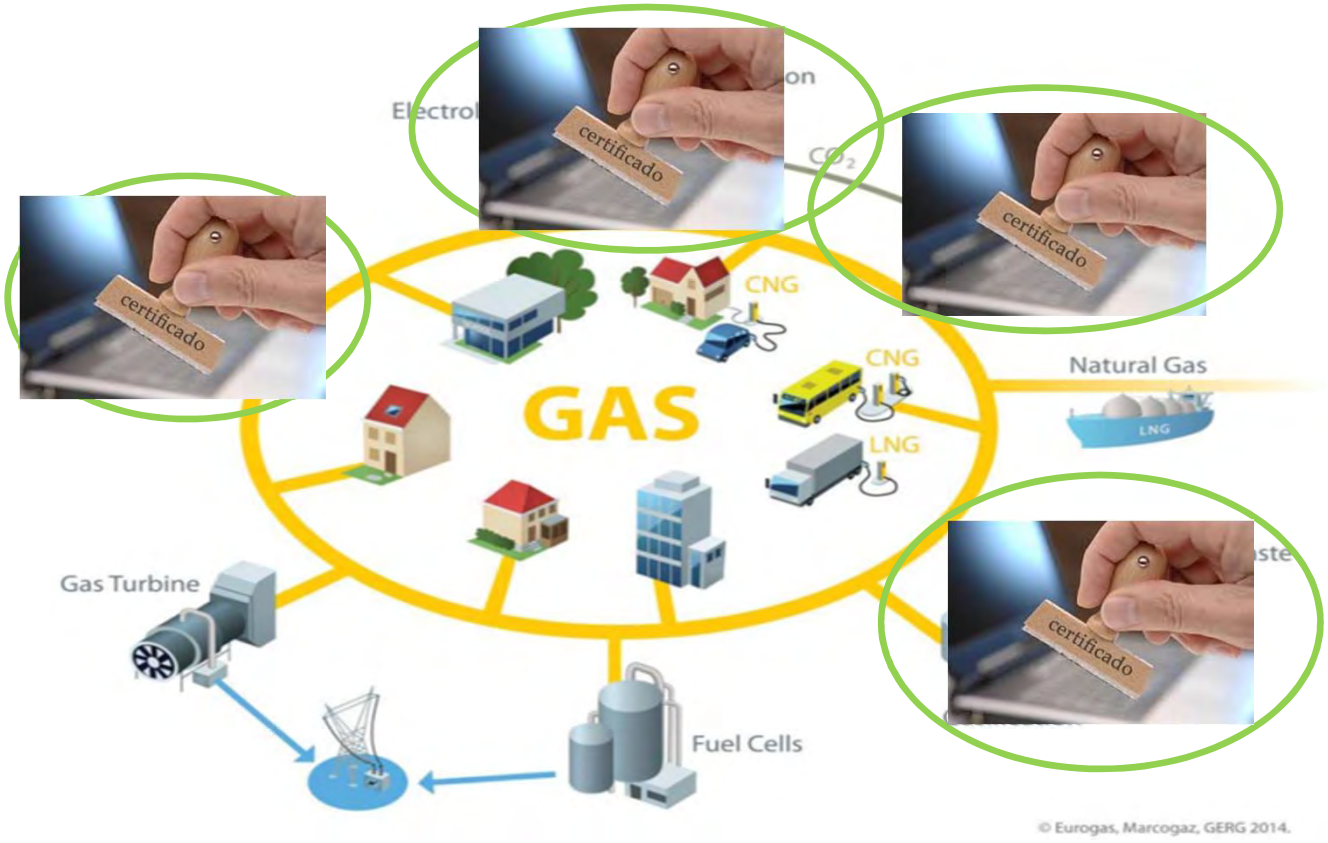
# El viaje del Gas Renovable



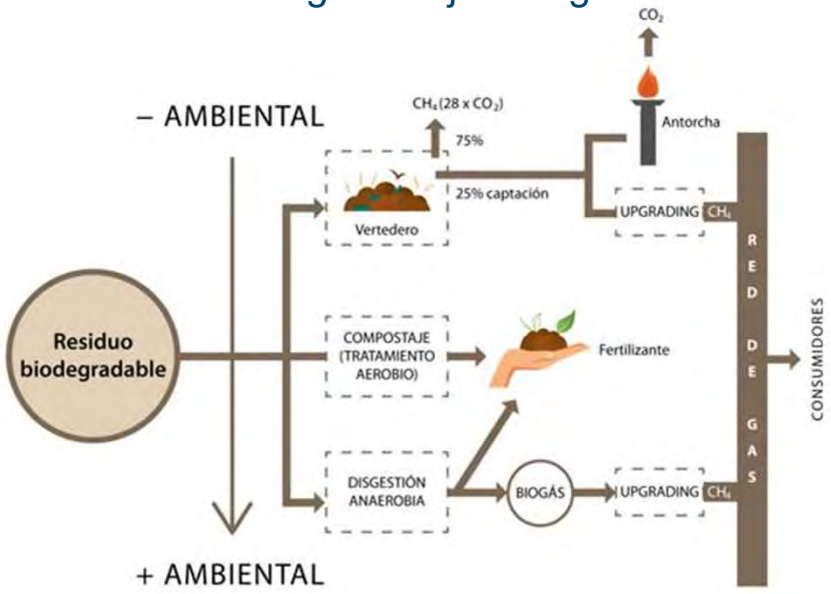



# Usos del Gas Renovable



# Eficiencia del gas renovable

La inyección en red del biometano optimizar el uso energético y medioambiental de biogas. Mejora la gestión eficaz de residuos




*Fuentes: Foro de los Generadores de Energía de Residuos (FGER)*

la producción de biometano para su uso en redes de gas natural es la estrategia más viable desde el punto de vista económico, social y ambiental
(Fuente: Proma-Universidad de Granada)

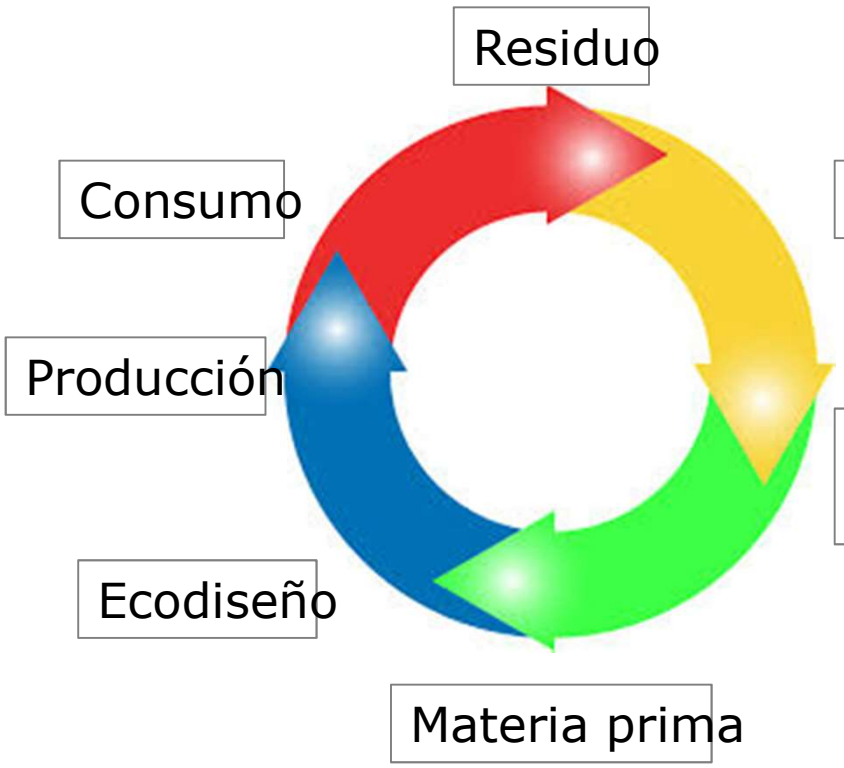
enagas

nedgia
Grupo Naturgy

# Economía circular.

**Estrategia Española de Economía Circular (Borrador)**

Con las cifras de población estimadas para 2050, harían falta casi 3 planetas Tierra para proporcionar los recursos naturales necesarios para mantener los modos de vida actuales.




Energía Renovable

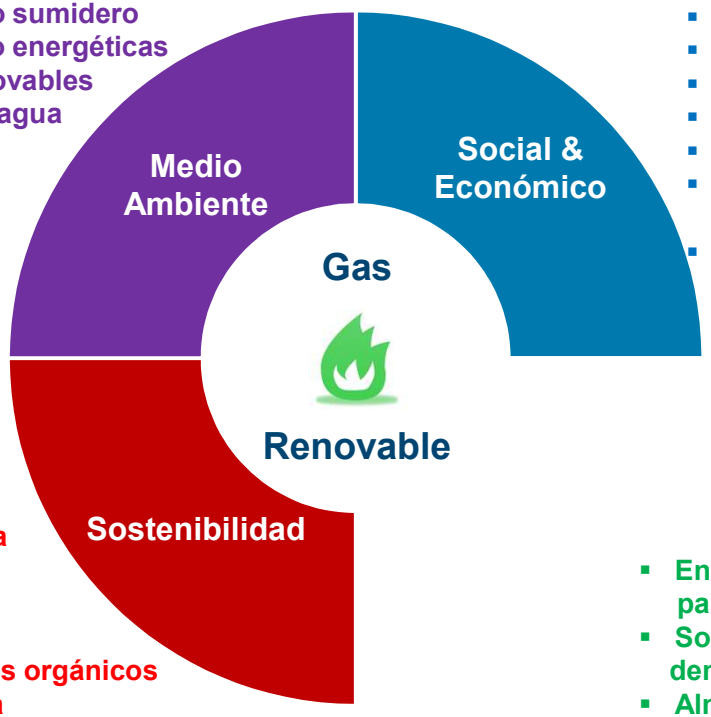
Gas Renoval

Materia prima secundaria

Fertilizante

# Resumen Ventajas

- Emisiones neutras de CO2 e incluso sumidero
- Intervención sobre las emisiones no energéticas
- Aportación a la generación con renovables
- Reducción de la contaminación del agua



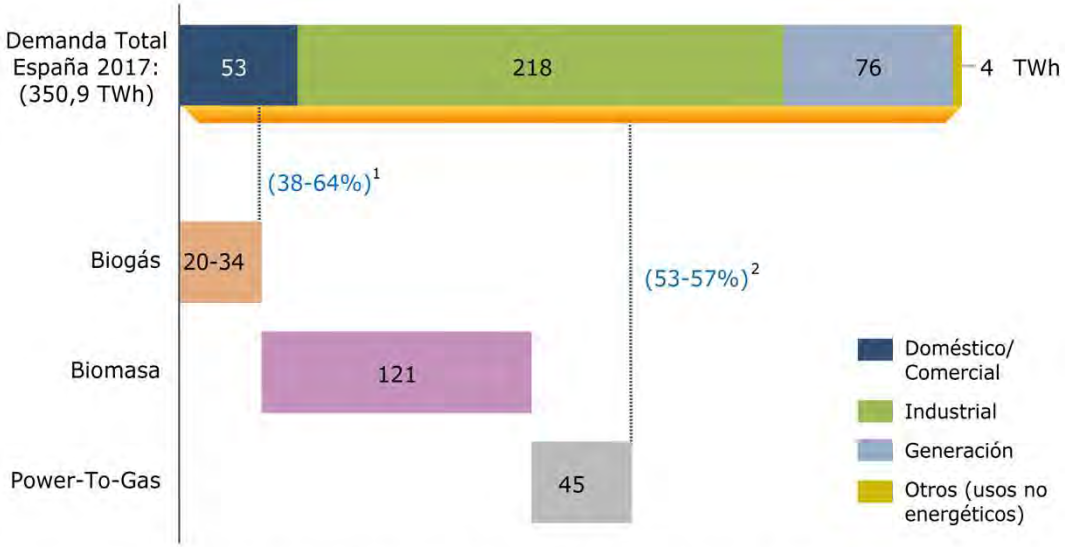

- Desarrollo de zonas rurales: riqueza y empleo
- Fijación de población en medio rural
- Energía sostenible y seguridad de suministro
- Producción distribuida
- Administrable para generarse de forma continua
- Aprovechamiento de la infraestructura de gas natural ya desarrollada
- Equipamiento compatible

- Mayor contribuyente energético a la Economía Circular
- Valorización de recursos: energía renovable + bioproductos
- Optimización de gestión de residuos orgánicos
- Optimización de la gestión del agua
- Unificación de los sistemas energéticos aportando flexibilidad

- Energía Renovable versátil: para usos: domésticos, industriales y de transporte
- Solución para la asincronía entre producción y demanda: inyectado en la actual red de gas natural
- Almacenamiento de Energía Renovable excedentaria

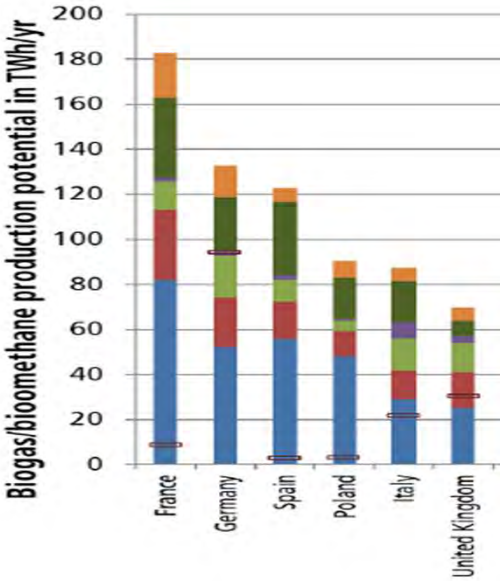
*Fuente: Nedgia*

# Potencial de Gas Renovable




[1] Potencial de biometano que se puede producir con la digestión anaeróbica de residuos.
[2] Potencial factible total de producción de gas renovable de la demanda total de gas en 2017.

*Fuentes:* *Elaboración propia:*
*Demanda total España del informe Anual 2017 de Sedigas. (350,9 TWh)*
*Potenciales disponibles de biogás IDAE (Octubre 2018)*
*Potencial de gas a partir de Biomasa y Power to gas: Estudio Naturgy.*



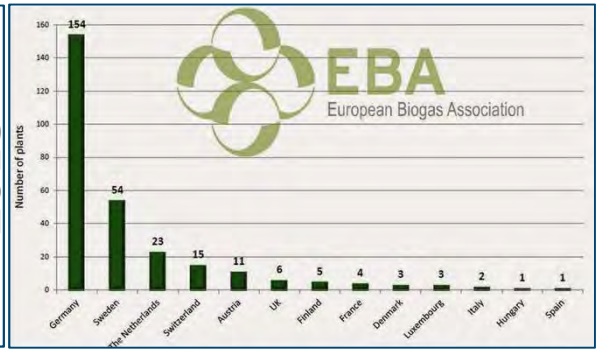

*Fuentes: Trinomics: "Impact of the use of the biomethane and hydrogen potential on trans-European infrastructure*

# Referencias europeas

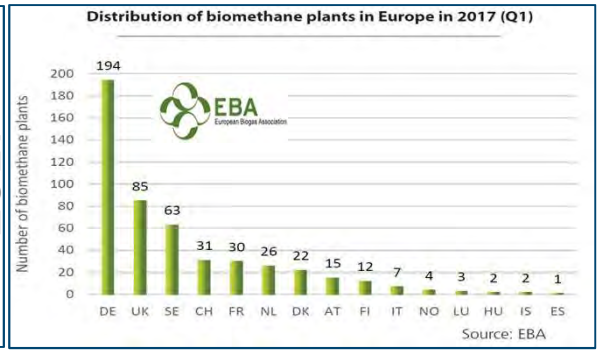
El desarrollo de las plantas está muy correlacionado a los programas de incentivo

## Plantas de biometano

2013

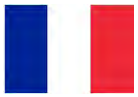



2017




*Fuente: European Commission, European Biogas Association*

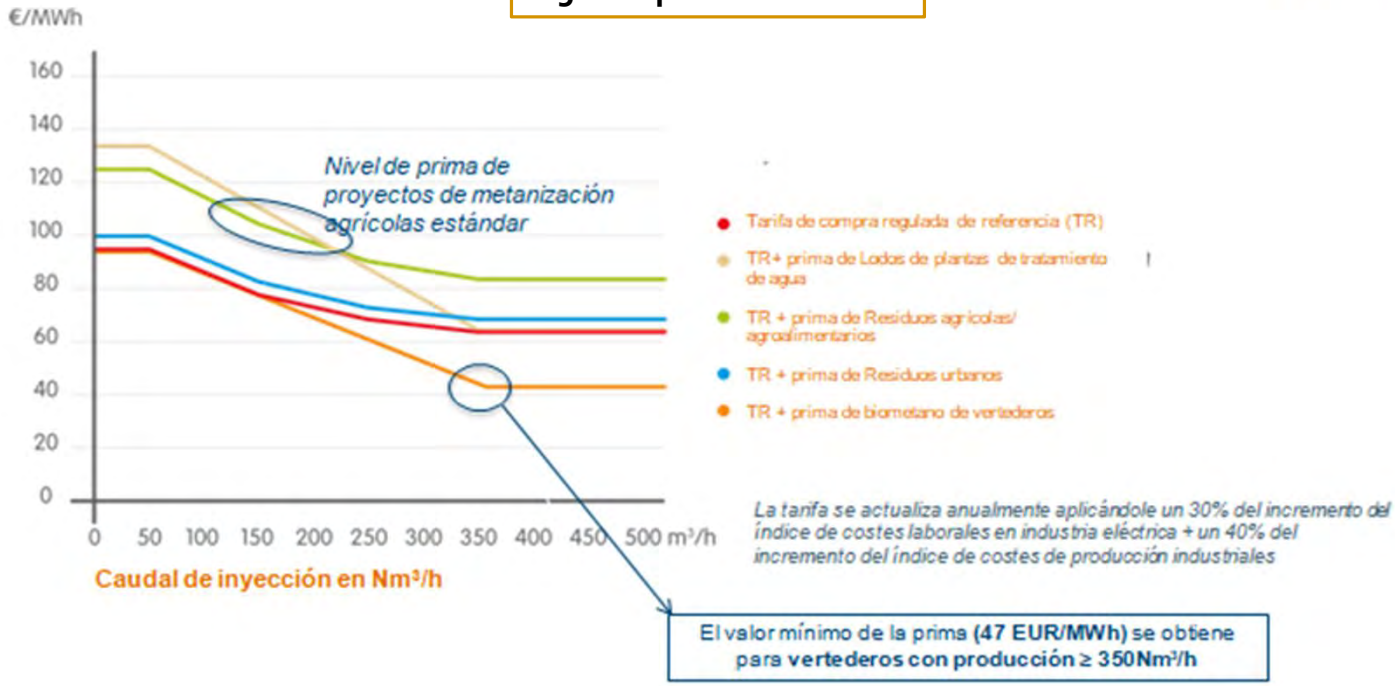
## Programas de incentivos

| | Gas renovable en general |
|---|---|
| | **Feed-in Tariff** |
| | **Feed-in Tariff** |
| | **Quota + Tax** |
|  | **Feed-in Tariff** |
| | ✕ |

*Nota: El Feed-In Tariff es un instrumento normativo que impulsa el desarrollo del biometano, mediante el establecimiento de una tarifa especial o prima por unidad de energía*

## Referencias europeas

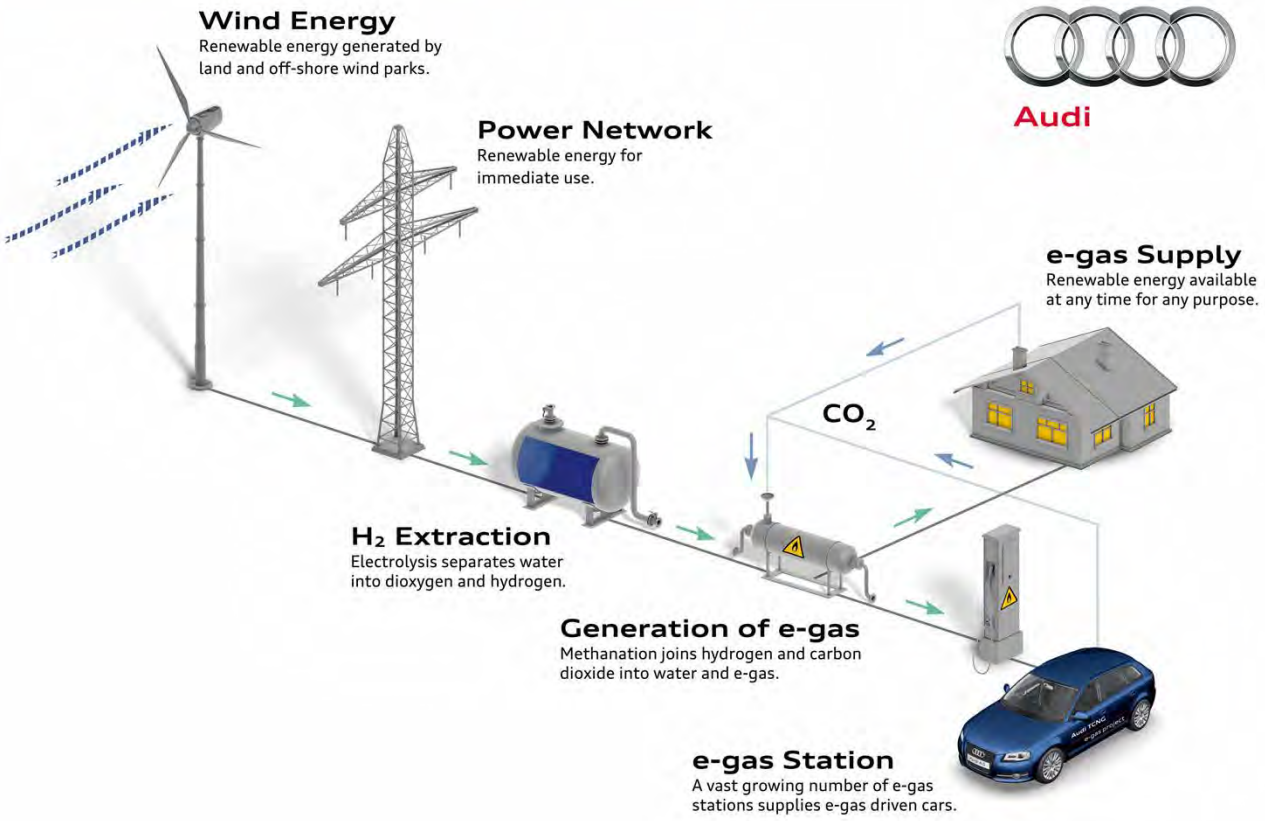
### Ejemplo de Francia




Desde la implantación de las medidas Francia está poniendo en marcha 1 nueva planta a la semana.
En objetivo francés es 100% de su gas natural será de origen renovable en el 2.050.

# Proyectos

## Proyecto de AUDI con planta P2G de 6MW



## Proyectos en marcha

### Valdemingómez

Inyectando 90 GWh/año de biometano. El consumo equivalente de 18.000 viviendas o 10.000 coches

# Proyectos en marcha

## METHAMORFOSIS

- Upgrading de 170 $m^3$/h de biogas generado por purines de cerdo en Lérida. Tecnología de membranas.
- Optimización del pretratamiento del biogas para reducer costes.
- En proceso de construcción la inyección a la red unido a gasinera para GNC de SEAT
- Inversión: 1,2 M€
- Producción biometano: 9,4 GWh/año

## EDAR BENS

- Upgrading de 100 $m^3$/h de biogas procedente de una EDAR en La Coruña. Tecnología de membranas
- Optimización de costes; probando nuevas membranas y nuevas soluciones
- Se inyectará a la red en el 2.019. Se utiliza también para alimentar varios vehículos de GNC
- Inversión: 1,1M€
-
-

## COSIN (P2G)

- EDAR de Sabadell, se produce biometano con tecnología de membranas unido a la producción de metano sintético procedente de hidrógeno de electrolysis y metanación
- Inversión: 0,5M€

# EDAR BENS

25%

Biometano **525.600 m³/año** **5,6 Gwh/año**

> 1.100 vvdas

> 600 coches

# EDAR BENS

# EDAR BENS

AUTOS CAL PITA S.A.
ESTE BUS LO MUEVES TÚ CON BIOMETANO
ACP
EL COMBUSTIBLE DE ESTE VEHÍCULO SE OBTIENE
DE LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES
AVERIGUA COMO EN: EDARBENS.ES
gasRenovable

# Proyectos en ejecución

## VERTEDERO ELENA

- Se elimina el quemado en antorcha del biogás generado
- Biometano de Vertedero: 400 m3/h biogas (4.000 vvdas aprox.)
- Inversión 2,2 M€
- Producción de biometano: 22,2 GWh/año

## EDAR BUTARQUE

- Integrado en el Proyecto ECO-GATE*.Gas renovable de EDAR + inyección en red + gasinera conectada en red
- Primer host para la elaboración de "Modelo Certificados de Origen de Gas Renovable"
- Piloto 12 meses
- Inversión: 0,8 M€
- Producción biometano: 5 GWh/año

**(*)ECO-GATE:**

- Nedgia lidera el proyecto europeo de un consorcio de 38 empresas (21 de España, 16 Portugal y 1 Francia/Alemania).
- Desplegar 21 gasineras + implementar innovaciones ( soluciones tecnológicas + **piloto de**

# Proyectos en desarrollo

## VALORIZACIÓN PAJA DEL ARROZ

- Solución a un problema de contaminación local
- Previsto inversion pública a través de compra pública innovadora
- Actualmente validando en laboratorio la tecnología.

## VENTA CRUZADA (EDAR + GNC en varios Ayunt.)

- Contrato público para valorizar el biogas de la EDAR municipal mediante la inyección en red y consumo en la flota de autobuses mediante gasinera alimentada desde la red de gas natural.
- Inversión necesaria en

## ALTA PRODUCCIÓN DE BIOGAS POR PLANTA DE MULTIRESIDUOS

- Modelo de planta multiresiduos (Purines + FORM)
- > 1.000 m3/h
- Presentada en varias omas

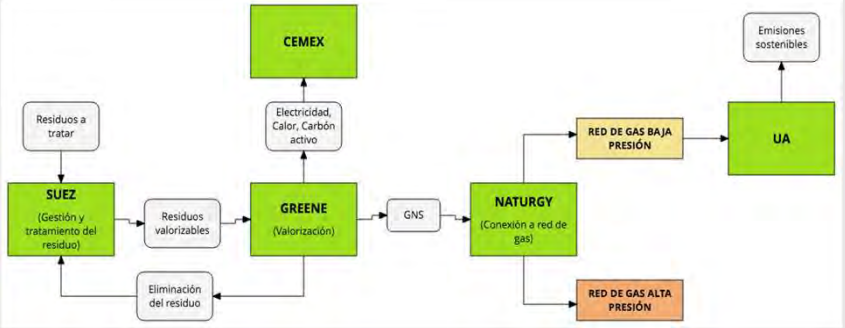
# Proyectos en desarrollo

## VERTEDEROS

- Tecnología de crionización
- Alta producción de biogas
- Zaragoza, Barcelona, Sevilla
- Biometano disponible: 590 Gwh/año

## GASIFICACIÓN

- En estudio la participación de Naturgy con diferentes empresas para proyecto piloto de gasificación en Alicante para producir GNR a partir de lodos y CDR (RSU) + plásticos que será inyectado en la red de gas.



“El gas natural es la energía necesaria para la descarbonización de la economía”

# Muchas gracias

© Copyright Nedgia

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

10:00 - 12:00

**SESIÓN 1 PLENARIA.**
Modera: Guillermo Escobar. **NATURGY**.

"Gas renovable" **Francisco Javier Torres Calvo**. Responsable de la Unidad de Nuevos Negocios. **NEDGIA**

"El rol de los servicios digitales en la nube en los contratos de rendimiento energético". **Joan Vidal Rull.** Director Técnico Europeo de Eficiencia Energética. **HONEYWELL**

"A multi-HVAC system autonomic management architecture for smart buildings". **Nuria Gallego Salvador.** Directora Técnico Comercial. **FCC INDUSTRIAL**

"Servicio Integral de Eficiencia Energética – Auditoría, Monitorización, Seguimiento, Proyectos y Financiación". **Francisco Conesa**. Desarrollo de negocio. **ACCIONA**

# El rol de los servicios digitales en la nube en los contratos EPC

Joan Vidal Rull

Honeywell

aee
The Association of Energy Engineers
Spain Chapter

# Índice


1 INTRODUCCIÓN

2 LOS CONTRATOS DE RENDIMIENTO ENERGÉTICO

3 SERVICIOS DIGITALES PARA LOS EPC

4 MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y CICLO DE VIDA

5 BENEFICIOS MÁS ALLÁ DE LA GESTIÓN TÉCNICA

6 CONCLUSIONES

# 1 INTRODUCCIÓN

iENER'19

Honeywell

# Honeywell

NYSE HON

FORTUNE 100

More than **131,000** employee

**1300** sites in **79** countries

Global HQ

**Morris Plains**

**NewJersey, USA**

2018 Sales

**$41.8B**

# Eficiencia energética y generación renovable

Con cerca de un 50% de sus soluciones vinculadas a la eficiencia energética, Honeywell ayuda al mundo a hacer frente a sus retos ambientales.

Con la adopción inmediata de los productos y sistemas de Honeywell, el mundo podría **reducir el consumo energético entre un 20 y un 25%**.

# Impulsando la eficiencia energética en nuestras instalaciones

**>65%**
Reducción de emisiones GEI 2004-2017

**~60%**
Mejora en nuestra eficiencia energética 2004-2017

**450M**
Litros de agua ahorrados en áreas con estrés hídrico

**Hacemos nuestro negocio más respetuoso con el medio ambiente, más seguro y más sostenible**

**En 2019, reduciremos nuestras emisiones GEI en un 10% adicional por dólar ingresado respecto nuestros niveles en 2013.**

# Las ciudades son cada vez más complejas y competitivas

**Creciente concentración urbana**

- **54%** de la población, **63%** en 2050
- Competencia para **atraer talento e inversiones**

**Problemáticas de las ciudades**

- **Contaminación** del aire y agua
- Atascos de **tráfico** e **infraestructura** obsoleta
- **Seguridad**

**Rápido aumento del consumo**

- **2% de la superficie** pero **80%** del consumo energético y **75%** de las emisiones de CO2
- **+40%** en 2030

Las *Smart Cities* integran multiples infraestructuras y tecnologías ICT para crear un **ecosistema eficiente, seguro y sostenible**

# Las *Smart Cities* están hechas de *Smart Buildings*…

**80-90% de nuestro tiempo dentro de edificios**

**Los edificios consumen**

- **60%** de la energía
- **25%** del agua
- **40%** de los recursos globales
- **33%** de las emisiones GEI

**Pero los *smart buildings* pueden**

- **40%** Reducir el consumo de energía
- **30%** Reducir el consume de agua
- **10-30%** Reducir coste de mto.
- **10%** Aumento valor activo

# Tendencias que transforman los edificios

## La era de la connectividad

**90%** de datos creados en los 2 últimos años
**50X** crecimiento en 2020 vs 2010
Sólo **10%** de los datos se analiza

## Decisiones basadas en datos

**+5-10% productividad** (EBITDA / empleado)
**+6%** rentabilidad
**+4.3%** Rendimiento de capital

## Edificios conectados

Gran y rápido crecimiento de la industria IoT
**34%** dispositivos conectados en 2021

## Uso del móvil

**2020 más usuarios de móvil** que contratos: **6.1B**

## La nube y *big data*

Más datos conectados a la nube:
- 2012 - 2.8 Exabyte de datos
- 2020 - 40 Exabyte de datos

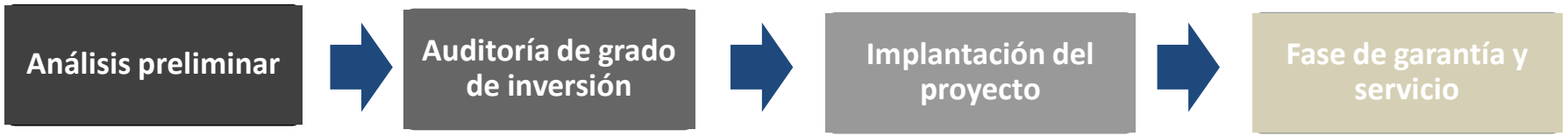
## Ciber-seguridad

Aumento del 110% en ataques a sistemas industriales sólo en 2016

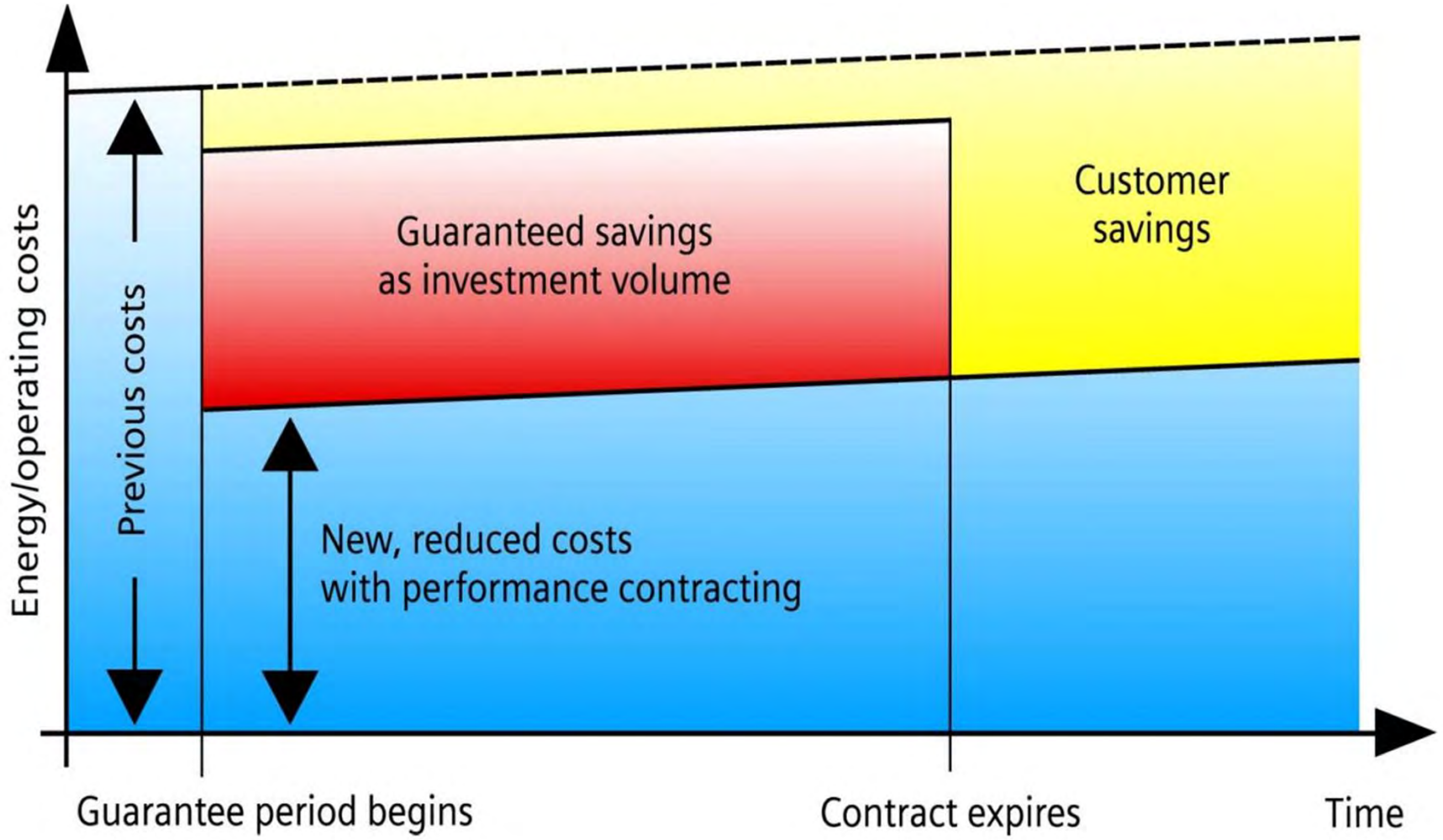
# 2 LOS CONTRATOS DE RENDIMIENTO ENERGÉTICO

# ¿Qué es un EPC?

- Un programa de eficiencia energética para edificios **en el que el pago se basa en logro de resultados específicos**.
- A diferencia de la mayoría de gastos de inversión, los **EPC reducen los gastos operativos (energía, agua, mantenimiento)**.
- **Los ahorros energéticos están garantizados** por la ESE.
- La ESE implanta el proyecto en modalidad llave-en-mano.
- Múltiples opciones de financiación.
- Protege la propietario del edificio de riesgos técnicos y financieros.
- Evita el cortoplacismo: tiene un enfoque global, **maximizando los ahorros**.
- Impacto social y ambiental: **genera empleo y reduce las emisiones de GEI**.



# ¿Cómo funciona un EPC?



# Nuevas reglas en el sector público para los EPC

## Alcance

- Se requiere CAPEX, no solo gestión energética.
- Puede incluir tanto activos extraíbles y fijos.
- Las inversiones en generación en sitio <50%.
- Duración mínima del contrato: 8 años.
- La ESE debe mantener los equipos instalados.

## Ahorros y pagos

- Ahorros garantizados(*) > pago anual (y total).
- Ingresos por exportación de energía <50% total ahorros garantizados.

(*) Excluye lo ahorros de operación y mantenimiento.

epc

## Titularidad y financiación

- Administración: propiedad legal de los activos
- La ESE: propietario económico de los activos
- Se permite la cesión de crédito, siempre que la ESE se mantenga responsable de la garantía de ahorros.

## Superávit / déficit de ahorros

- ESE responsable del déficit de ahorros: como mínimo proporcional a la ratio ahorros alcanzados / ahorros garantizados.
- ESE beneficiaria de como mínimo 2/3 partes del superávit de ahorros.

# Necesidades entorno a un EPC

## Energía

- Garantía de rendimiento
- Medida y verificación

## Confort

- Salud, confort, productividad
- Calidad ambiental interior

## Mantenimiento

- Disponibilidad de equipos
- Pronta respuesta ante incidencias

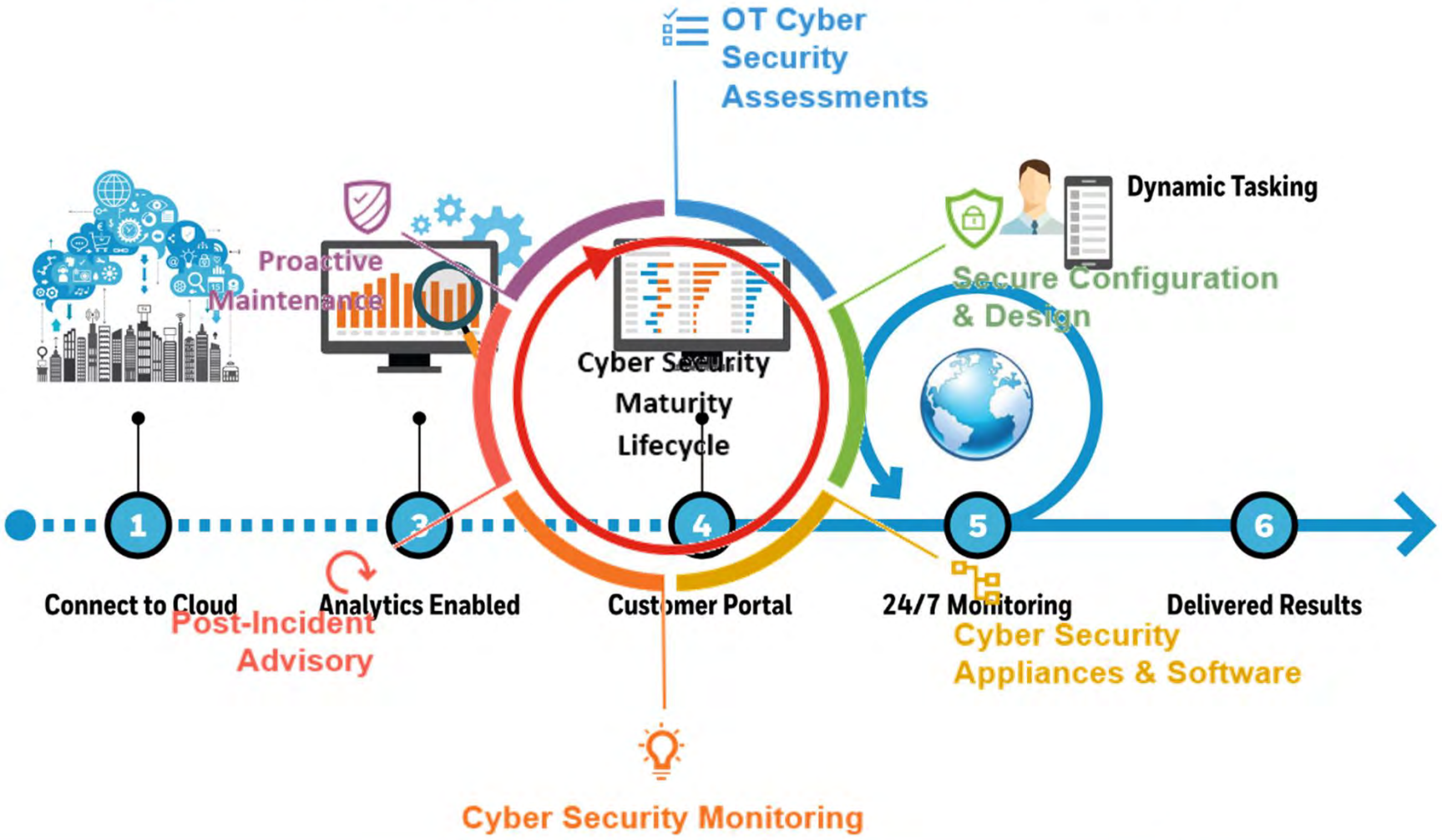
## Disponibilidad

- Dicisiones CapEx de bajo riesgo
- Gestión del flujo de caja libre

**Los ahorros no son suficientes: las mejoras en el funcionamiento del edificio y la experiencia del usuario son primordiales**

# 3 SERVICIOS DIGITALES PARA LOS EPC

# ¿Cómo se presta un servicio basado en la nube?



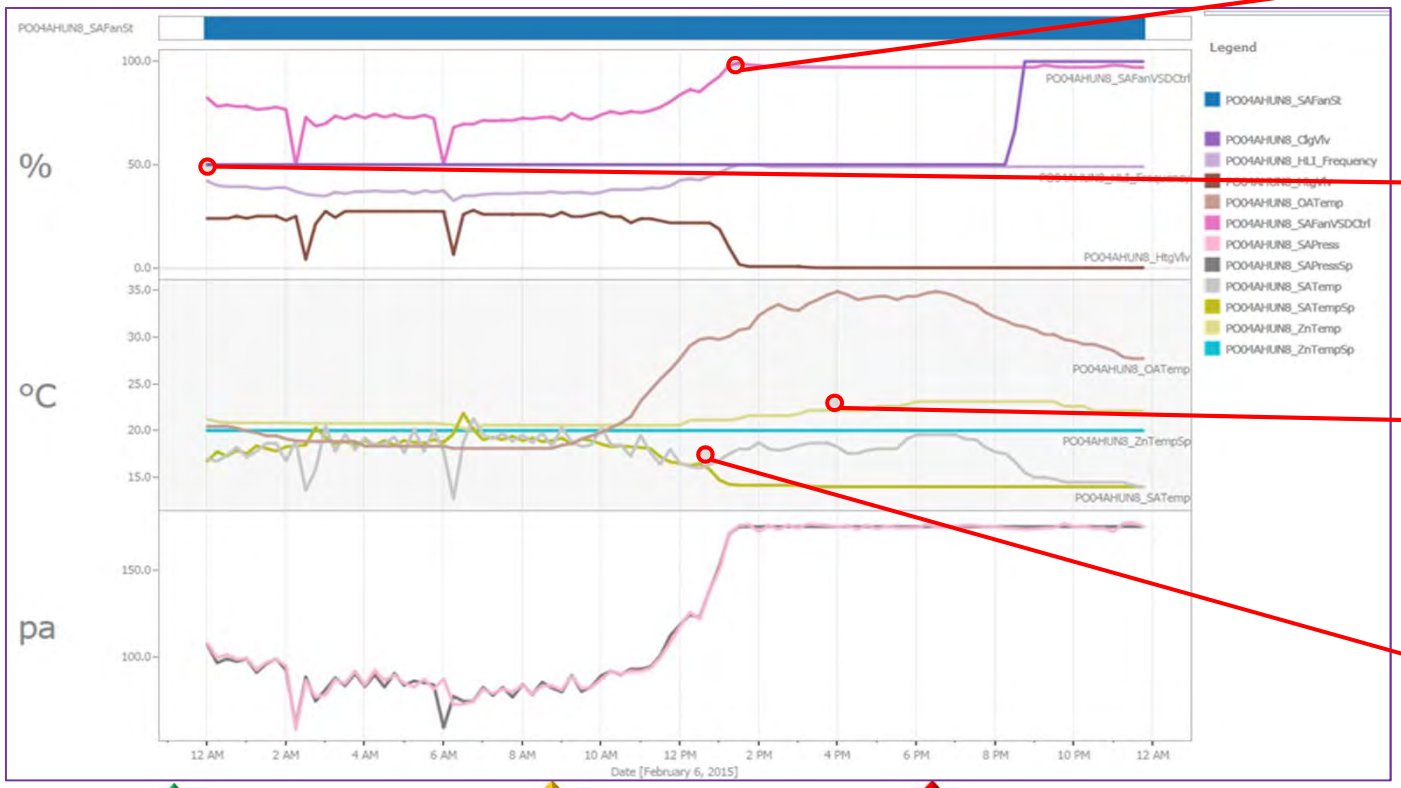
# Monitorización energética en la nube

## II Congreso Internacional Ingeniería Energética

# Analíticas de datos

- Reglas programadas en un motor de analíticas en la nube.
- Detectan anomalías y disfunciones que permiten anticiparse a fallos y consumos elevados.
- En continuo desarrollo:
  - Climatizadores
  - Enfriadoras
  - Calderas
  - Torres de refrigeración
  - Distribución de agua fría/caliente
  - Contadores eléctricos y térmicos
  - Ventiladores
  - Filtros
  - Bombas
  - Etc.

# Ejemplo de analítica




b) **Pero el ventilador funcionaba a plena carga 2,5 horas antes**

d) **Y la causa (válvula atascada) ocurrió al principio del día**

a) **Temperatura de zona fuera de rango a las 16:00**

c) **Y la Tª de impulsion se desviaba 30 mins antes**

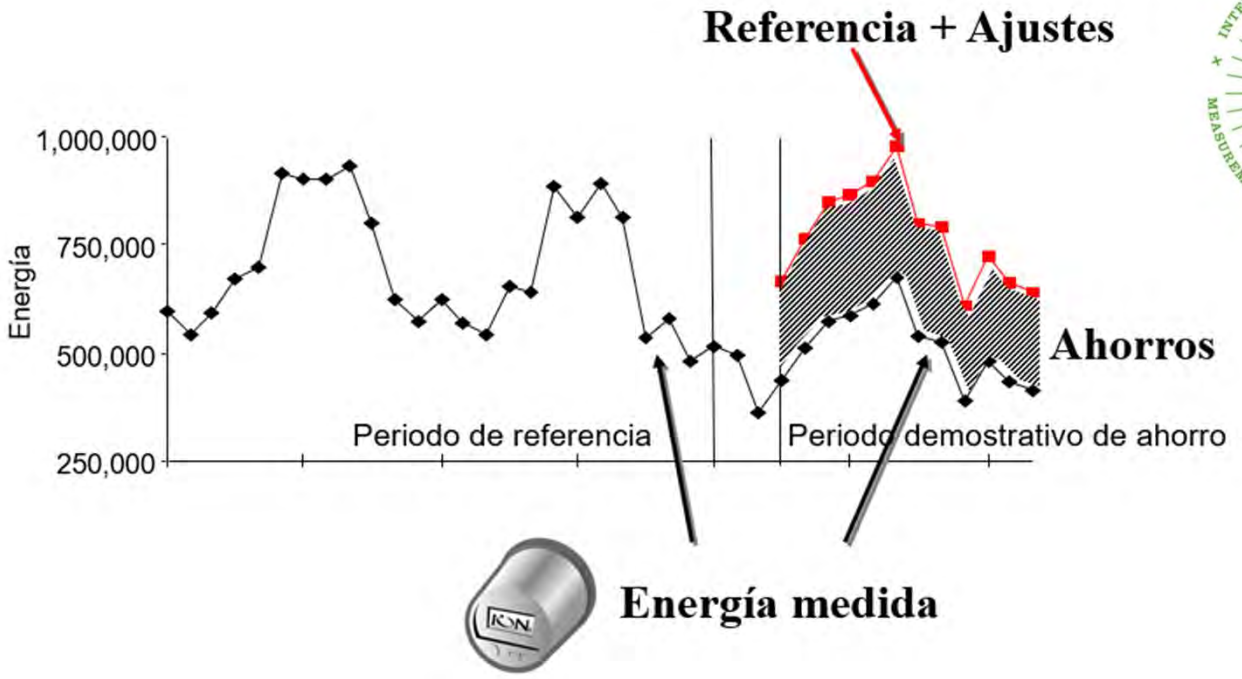
Cuando OBS detecta el problema

Cuando el confort se pone en riesgo

Cuando un BMS normal no conectado detecta el fallo

# Automatización de la M&V

- La medida y verificación consiste en la **determinación fiable de los ahorros**.
- Los ahorros son la **ausencia de consumo**, no se pueden medir directamente.
- Para determinar los ahorros, **hay que realizar ajustes** para comparar "manzanas con manzanas".



# Automatización de la M&V: Museo Thyssen

- Modernización de las instalaciones de HVAC y sistema de control.
- Nuevas enfriadoras, torres de refrigeración, variadores en bombas.
- Sustitución de los ventiladores de las principales UTAs.
- Integración de todos los equipos en el SCADA EBI de Honeywell.
- Medida y Verificación de los ahorros alcanzados.

**Reducción de un 30% del consumo de energía**

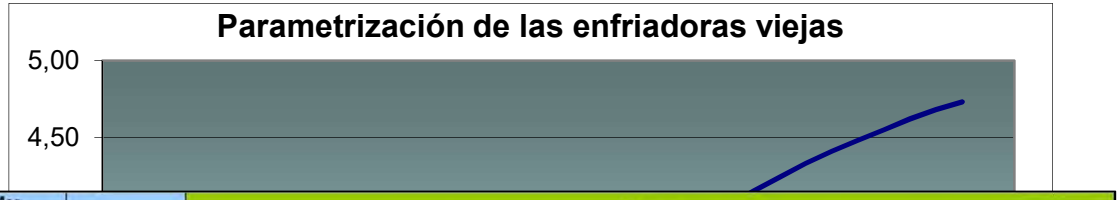
# Automatización de la M&V: Museo Thyssen

**Medición del consumo y condiciones base**

**Modelización del rendimiento de equipos existentes**

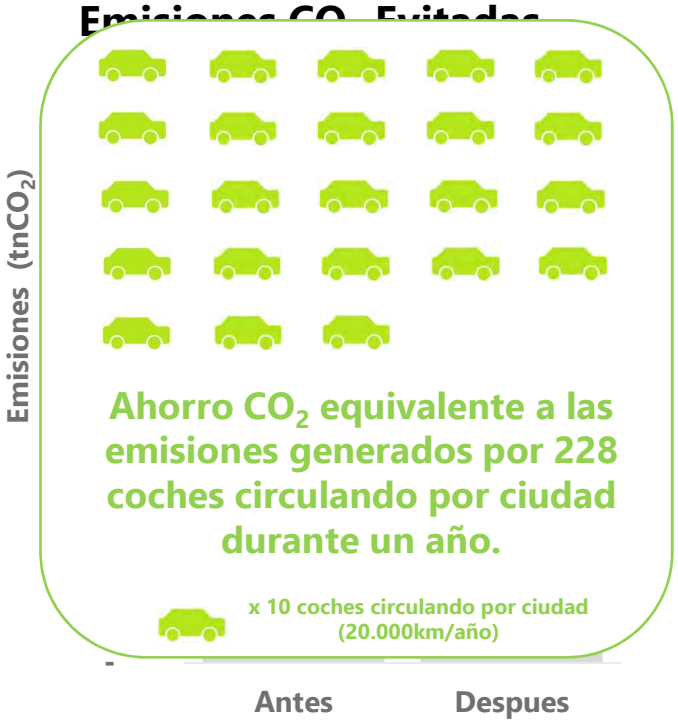
**Medición de nuevos consumos y generación de informes**

**IPMVP Opción B**




| Mes Agosto / Día | T. Exterior °C | Ahorros: Enfriadoras kWh | Bombas Prim. kWh | Bombas Cond kWh | Vent. Torres kWh | Bombas Secundario kWh | Ahorro Elec kWh | Ahorro Elec € | Ahorro Agua m3 | Ahorro Agua € | Total Ahorro € | Ahorro kWh % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 24 | 765 | 47 | 186 | -11 | 328 | 1,316 | 95 € | 2 | 3 € | 98 € | 28.6% |
| 2 | 25 | 685 | 51 | 354 | -3 | 328 | 1,414 | 102 € | 1 | 1 € | 104 € | 30.9% |
| 3 | 27 | 621 | 48 | 181 | 18 | 322 | 1,190 | 86 € | 1 | 2 € | 88 € | 25.5% |
| 4 | 25 | 690 | 49 | 354 | -3 | 289 | 1,378 | 100 € | 2 | 3 € | 103 € | 29.9% |
| 5 | 23 | 728 | 59 | 236 | 7 | 302 | 1,332 | 97 € | 1 | 2 € | 99 € | 30.5% |
| 6 | 22 | 932 | 60 | 238 | 7 | 344 | 1,581 | 115 € | 2 | 4 € | 118 € | 36.9% |
| 7 | 25 | 749 | 48 | 354 | -6 | 325 | 1,469 | 106 € | 3 | 5 € | 111 € | 32.4% |
| 8 | 27 | 643 | 48 | 182 | 12 | 328 | 1,212 | 88 € | 1 | 2 € | 90 € | 26.5% |
| 9 | 29 | 507 | 53 | 344 | 47 | 323 | 1,274 | 92 € | 1 | 1 € | 94 € | 27.2% |
| 10 | 30 | 560 | 50 | 189 | 51 | 320 | 1,169 | 85 € | 1 | 2 € | 86 € | 24.5% |
| 11 | 29 | 594 | 52 | 354 | 36 | 290 | 1,326 | 96 € | 1 | 1 € | 97 € | 28.4% |
| 12 | 26 | 752 | 67 | 272 | 35 | 293 | 1,418 | 103 € | 0 | 0 € | 103 € | 32.0% |
| 13 | 24 | 725 | 61 | 354 | 25 | 336 | 1,500 | 109 € | 3 | 5 € | 114 € | 34.0% |
| 14 | 24 | 728 | 47 | 177 | -70 | 329 | 1,211 | 88 € | 1 | 2 € | 90 € | 26.7% |
| 15 | 23 | 603 | 45 | 335 | -48 | 328 | 1,263 | 92 € | 4 | 6 € | 98 € | 28.2% |
| 16 | 24 | 763 | 49 | 185 | -78 | 325 | 1,243 | 90 € | 2 | 4 € | 94 € | 27.5% |
| 17 | 28 | 634 | 50 | 354 | -45 | 320 | 1,312 | 95 € | 1 | 2 € | 97 € | 27.9% |
| 18 | 29 | 609 | 49 | 184 | -33 | 290 | 1,099 | 80 € | 1 | 1 € | 81 € | 23.6% |
| 19 | 31 | 717 | 59 | 361 | 11 | 292 | 1,439 | 104 € | 1 | 1 € | 106 € | 31.5% |
| 20 | 29 | 923 | 111 | 390 | 79 | 360 | 1,864 | 135 € | 2 | 3 € | 138 € | 43.8% |
| 21 | 29 | 521 | 51 | 354 | -46 | 315 | 1,195 | 87 € | 2 | 3 € | 89 € | 24.6% |
| 22 | 28 | 516 | 49 | 185 | -50 | 315 | 1,014 | 73 € | 2 | 3 € | 76 € | 20.8% |
| 23 | 26 | 746 | 52 | 354 | -75 | 313 | 1,390 | 101 € | 2 | 3 € | 104 € | 29.1% |
| 24 | 23 | 704 | 53 | 204 | -88 | 312 | 1,184 | 86 € | 2 | 4 € | 90 € | 25.6% |
| 25 | 25 | 751 | 57 | 354 | -53 | 278 | 1,387 | 100 € | 2 | 3 € | 104 € | 30.4% |
| 26 | 23 | 865 | 64 | 258 | -42 | 296 | 1,440 | 104 € | 3 | 5 € | 109 € | 32.8% |
| 27 | 24 | 855 | 61 | 240 | -41 | 335 | 1,450 | 105 € | 1 | 2 € | 108 € | 33.2% |
| 28 | 23 | 863 | 48 | 354 | -90 | 327 | 1,502 | 109 € | 2 | 4 € | 113 € | 33.2% |
| 29 | 24 | 724 | 48 | 181 | -79 | 327 | 1,201 | 87 € | 2 | 4 € | 91 € | 26.2% |
| 30 | 26 | 791 | 49 | 354 | -45 | 327 | 1,475 | 107 € | 2 | 3 € | 110 € | 32.6% |
| 31 | 20 | 940 | 48 | 179 | -37 | 327 | 1,457 | 106 € | 3 | 5 € | 110 € | 33.3% |
| **Total Mes** | **26** | **22,204** | **1,680** | **8,598** | **-615** | **9,843** | **41,710** | **3,022 €** | **54** | **91 €** | **3,113 €** | **29.5%** |

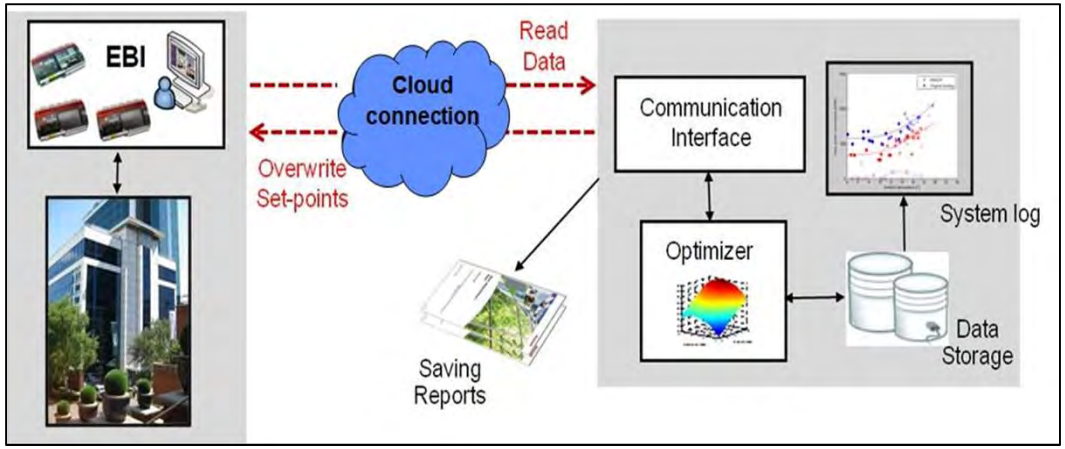
# Museo Thyssen: resultados obtenidos

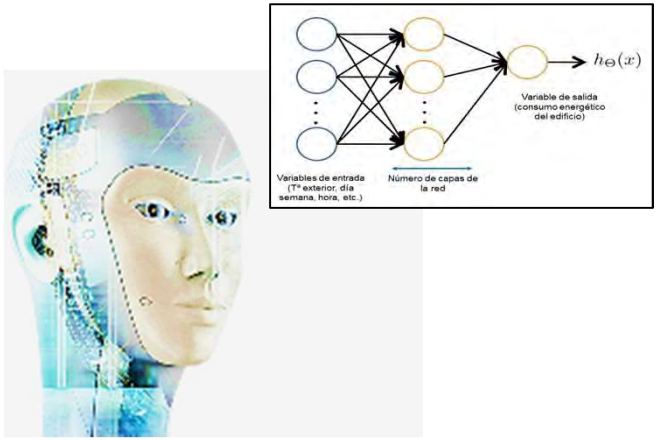



| |
|---|
| Electricidad |
| Gasoil |
| Ahorro |

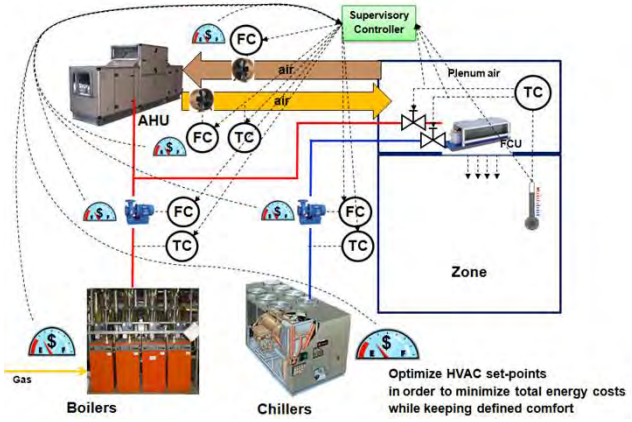
***Antes:*** *Consumo medio durante los 5 años previos a la implantación de la solución.*
***Después*** *Consumo medio durante los 6 años posteriores a la implantación de la solución.*

# Optimización energética vía IA




**Ahorros alcanzados en sistemas HVAC: 7% a 20%**

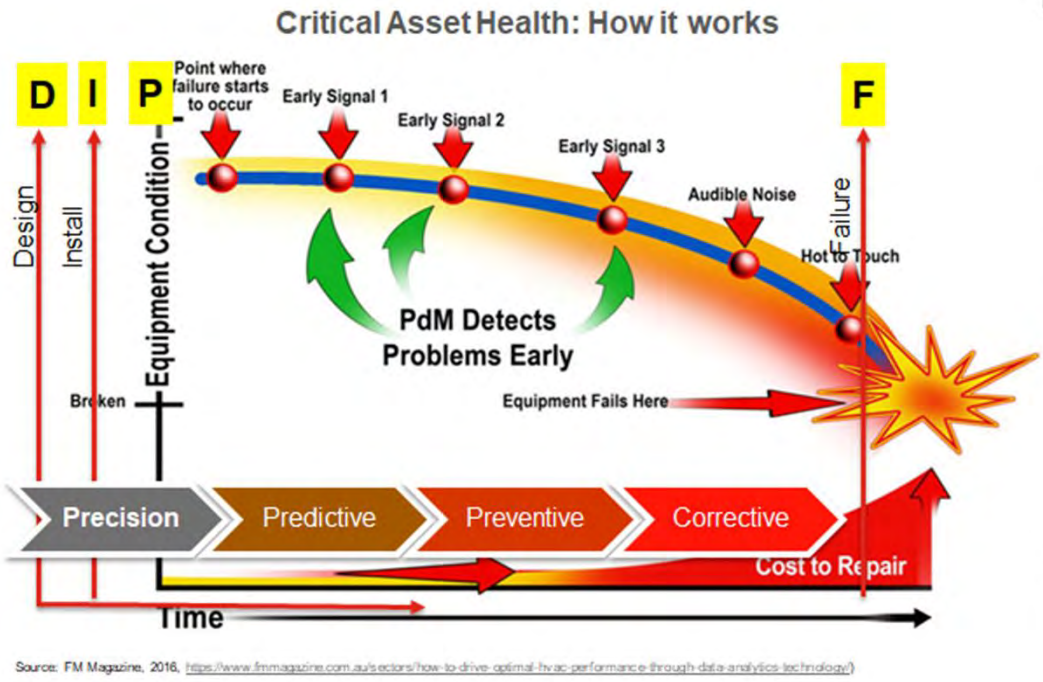


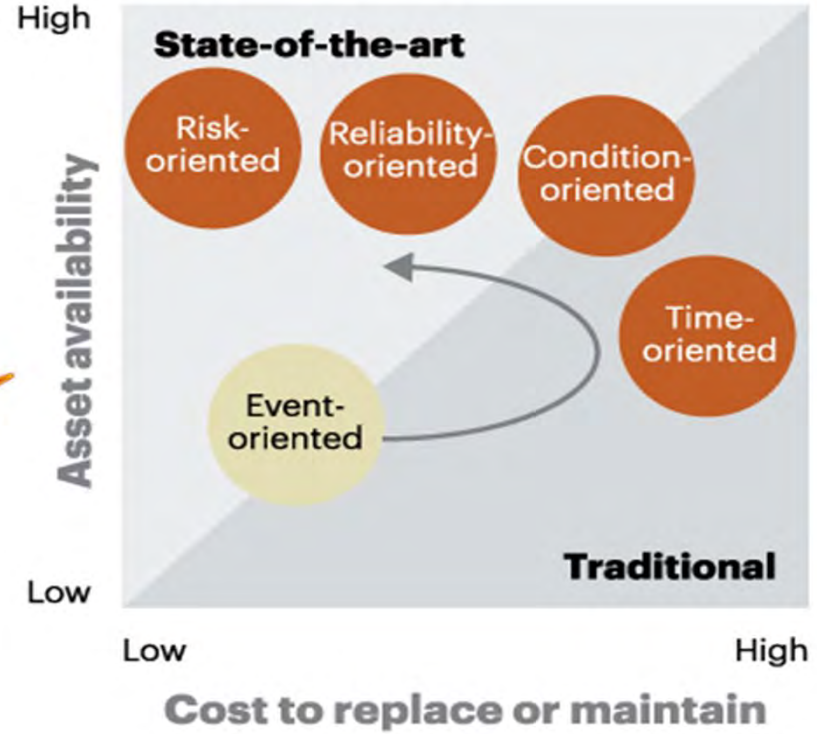
# 4 MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y CICLO DE VIDA

# El dilema del mantenimiento: reparar vs. remplazar

El valor del mantenimiento predictivo:

- ✓ Hasta un 20% de ahorros anuales en mantenimiento y energía
- ✓ 35-45% de reducción en indisponibilidad de equipos



# Ciclo de vida: salud de los activos

- **Medir el rendimiento de parámetros clave** de cada equipo en relación a los valores mínimos y máximos recomendados.
- Ejemplo: en un climatizador: Tª del bobinado motor, Tª variador y presión diferencial de filtros

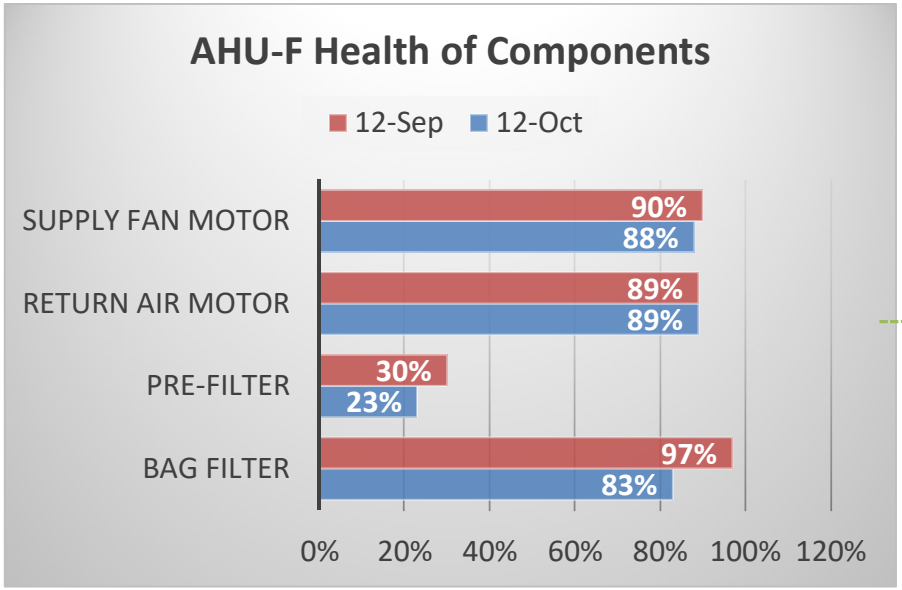
# Ejemplo de salud de los activos

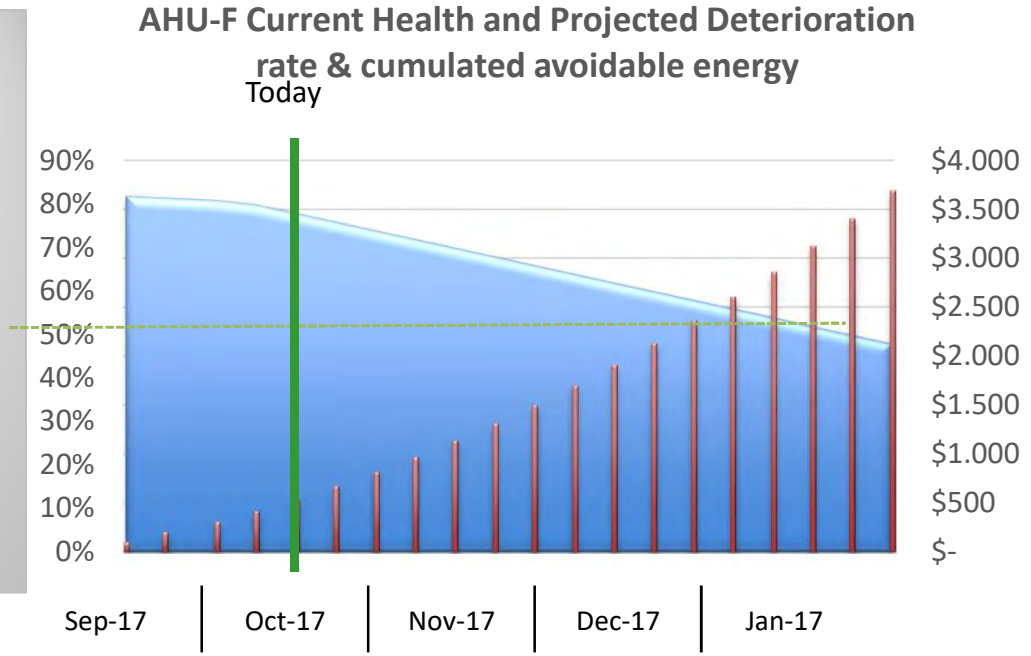
Problema en los filtros (pre-filtro y bolsas) que afecta el rendimiento del motor-ventilador de impulsión:

- Se deteriora más rápidamente (la salud del activo cayó 2 puntos cada semana)
- Mayor consumo energético

Si no se actúa, en tan solo 2 meses:

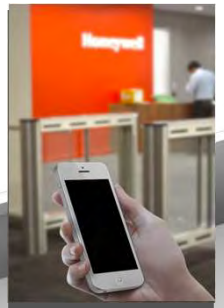
- La salude del activo caerá por debajo del 50% y almenos un elemento tendrá que remplazarse:
  - Coste motor 500 - 2000$, coste de filtros 20 -100 $, UTA hasta 45,000 $
  - **Consumo energético acumulado evitable de 3,700$**



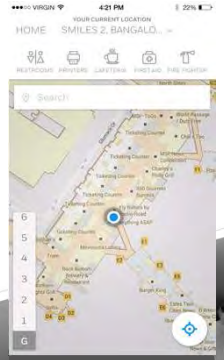



# 5 BENEFICIOS MÁS ALLÁ DE LA GESTIÓN TÉCNICA

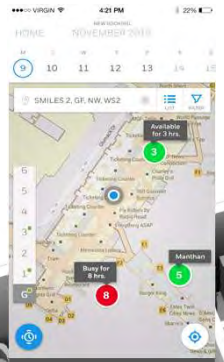
# Experiencia de usuario



Control de accesos

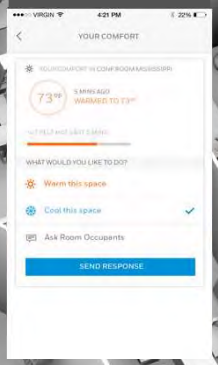


Navegación interna

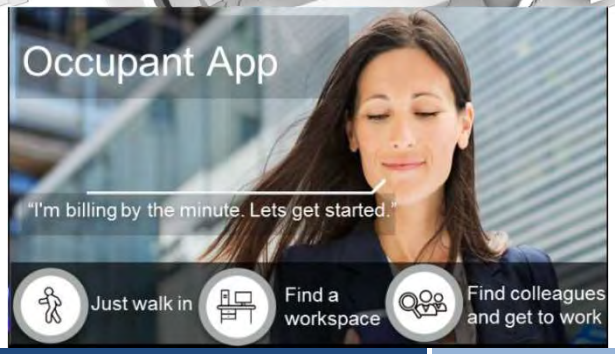


Reserva de salas

Otros servicios

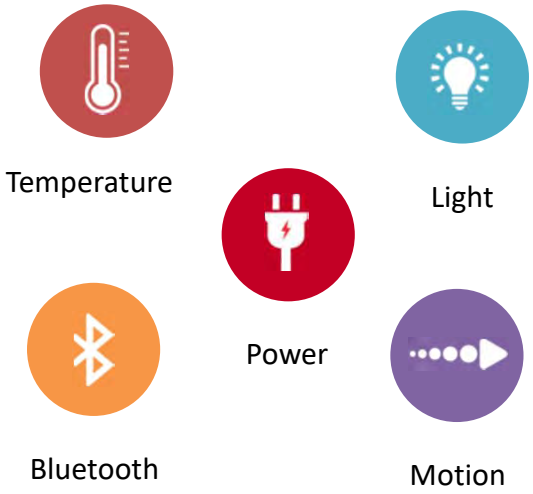


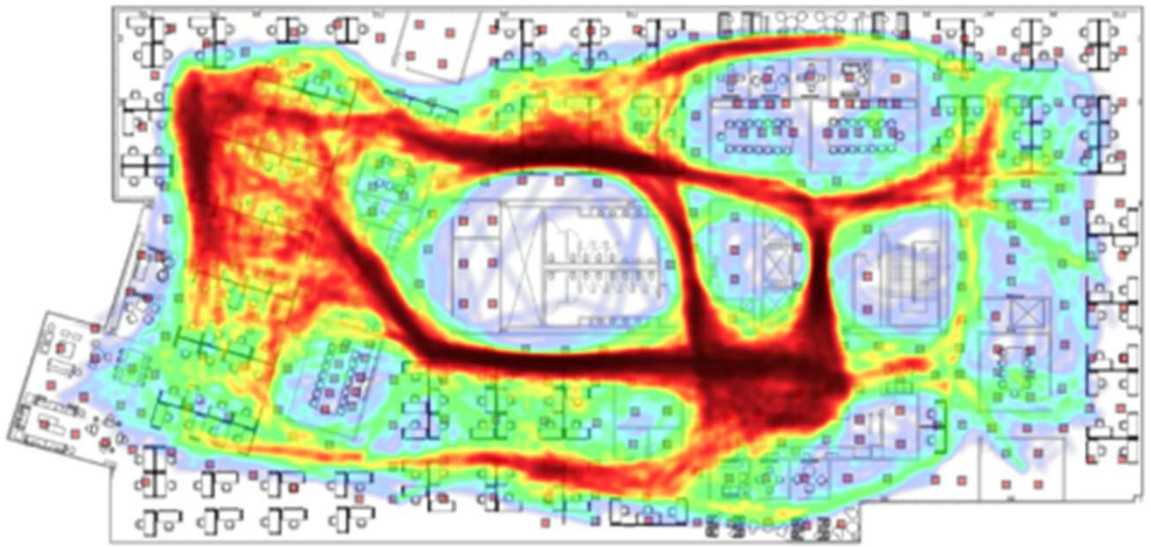
Controles de confort



# Utilización de los edificios

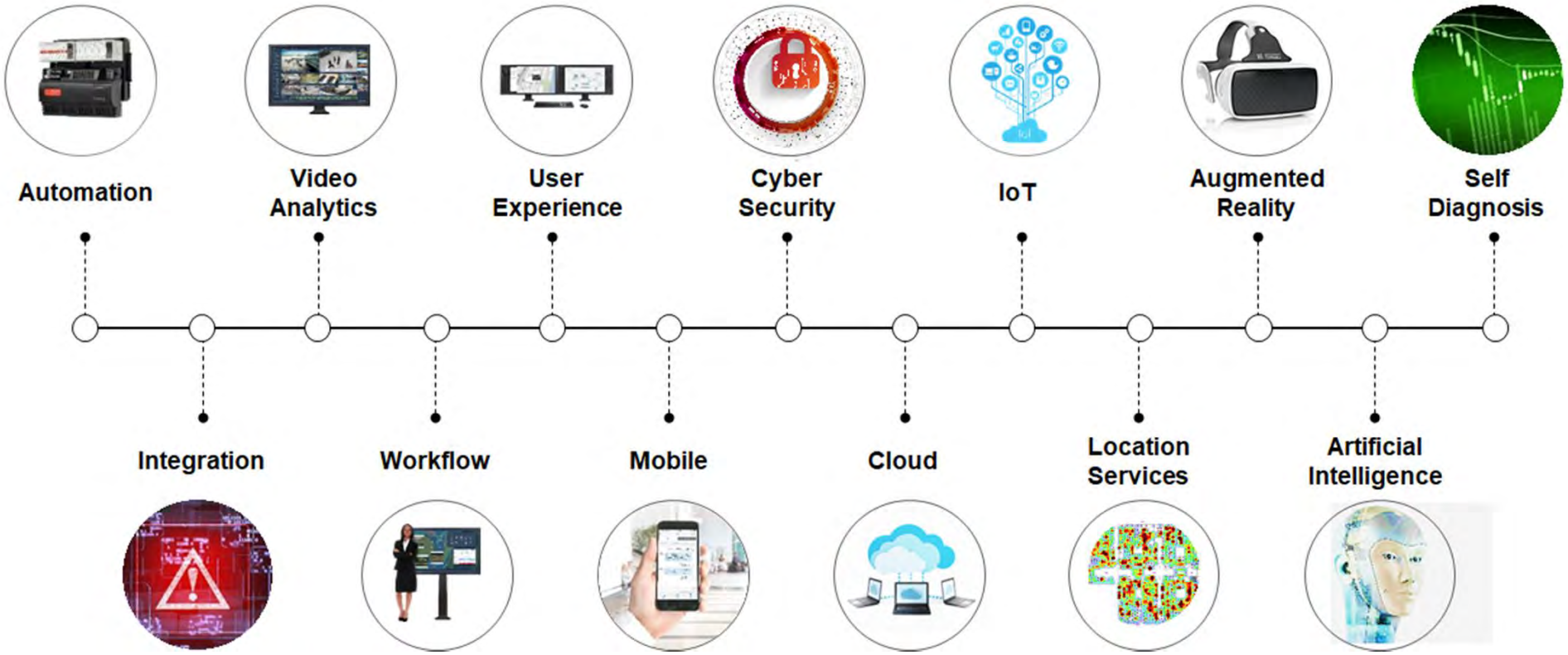
- Mediante sensores IoT.
- Obtención de **métricas de utilización de espacios**.
- Herramienta para la gestión de espacios de oficina.
- Optimización del consumo en HVAC e iluminación.



# 6 CONCLUSIONES

# Evolución inteligente de la tecnología



## II Congreso Internacional Ingeniería Energética

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Joan Vidal Rull
Director Europeo Soluciones Eficiencia Energética
Honeywell Building Solutions

Honeywell

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

# El rol de los servicios digitales en la nube en los contratos de rendimiento energético

**Autor(es) de la comunicación: J. Vidal**[1]

1 Joan Vidal Rull. Honeywell Building Solutions, Pau Vila 15-19, 08911 Badalona (Barcelona).

Con la creciente presión en los presupuestos de inversión y operación, junto con la complejidad que supone la gestión de grandes carteras de propiedades, los contratos de rendimiento energético se erigen como una solución idónea para financiar proyectos de eficiencia energética de edificios. Con frecuencia las empresas de servicios energéticos no son sólo responsables del rendimiento energético sino también del mantenimiento de los sistemas, y a menudo también de los niveles de confort. En este contexto, los servicios basados en la nube juegan un importante papel para la ESE (empresa de servicios energéticos), el propietario del edificio y los ocupantes de este.

Para la ESE, es vital anticiparse a cualquier anomalía o fallo, a fin de que la eficiencia energética y el confort permanezcan asegurados. La analítica de datos en la nube se utiliza para identificar tales situaciones con rapidez (o incluso antes de que sucedan), solucionarlas remotamente o enviar medios técnicos al edificio si es necesario. Es lo que se conoce como detección automática de fallos basada en algoritmos de inteligencia artificial. Además, el sistema permite configurar y monitorear KPIs tales como kWh por grado·día o coeficiente de rendimiento frigorífico, para asegurar que los objetivos se alcanzan. El mantenimiento predictivo se utiliza para optimizar la "salud" de los activos en lugar del mantenimiento planificado tradicional.

Tener visibilidad del consumo energético en todo momento es vital para el gestor del edificio. Éste necesita monitorear y reportar la energía y el confort de modo que pueda comprobar el grado de cumplimiento de la ESE. Honeywell ofrece a sus clientes un portal web con acceso ciber-seguro para que puedan comprobar dichos parámetros, tanto para un edificio como para el porfolio en su conjunto.

La experiencia de los ocupantes del edificio es un elemento que la ESE nunca debería minusvalorar. De hecho, para los propietarios y/o inquilinos dicha experiencia tiene un gran impacto en términos de productividad y satisfacción de cliente. Esta experiencia no se consigue solamente con la temperatura, niveles de iluminación y de ruido correctos, sino también con aplicaciones móviles que ofrezcan a los ocupantes un amplio abanico de servicios, desde acceso al propio edificio hasta la reserva de salas de reuniones, cáterin, etc. A la vez que proporciona al propietario una valiosa información relativa a la utilización del espacio, que se puede utilizar para una óptima gestión del porfolio de edificios.

Las tecnologías del internet de las cosas (IoT) y los servicios en nube son una realidad palpable en la actualidad, estando presentes en numerosos ámbitos de nuestra actividad profesional y privada. La gestión técnica y energética de los edificios es una tarea que se puede beneficiar claramente de la adopción de estas.

**Palabras clave:** contratos de rendimiento energético, eficiencia energética, servicios en la nube, medida y verificación.

## 1. TEXTO PRINCIPAL

## INTRODUCCIÓN

Ante los evidentes impactos negativos del calentamiento global y la dependencia energética exterior, la Unión Europea ha revisado recientemente sus objetivos de ahorro energético, situándolos en un 32,5% para 2030, en relación con las proyecciones de consumo para ese año. Al mismo tiempo, está impulsando un ambicioso programa para la renovación energética de edificios, a la luz de que estos representan un 40% del consumo energético de la Unión.

Los contratos de rendimiento energético, EPC de sus siglas en inglés *Energy Performance Contracting*, son una herramienta para la mejora de la eficiencia energética que se va introduciendo lenta pero sostenidamente en Europa durante los últimos años. En primer lugar, describimos sus principales características y diferencias respecto a otras fórmulas contractuales de corte más tradicional. A continuación, se destacan las necesidades de monitorización, seguimiento y validación de resultados a lo largo de la vida de estos, para posteriormente desarrollar las ventajas que las tecnologías *IoT* (internet de las cosas) y *Cloud Services* (servicios en la nube) nos brindan para asegurar los objetivos de los contratos con garantía de ahorros.

Así pues, la conectividad de los edificios con la nube, desde donde se pueden prestar numerosos servicios de optimización, se erige como una tendencia imparable que debemos aprovechar también para convertirlos en ecosistemas más sostenibles y productivos.

## LOS CONTRATOS DE RENDIMIENTO ENERGÉTICO

Para entender la utilidad práctica de los servicios en la nube a la hora de alcanzar ahorros energéticos y mejorar las operaciones de mantenimiento en los edificios, tenemos primero que razonar cómo se articulan los contratos de rendimiento energético y qué objetivos persiguen. Existen muchas y diversas definiciones de qué es un EPC, pero quizá la más amplia y general es la de EVO (*Efficiency Valuation Organization*), según la cual un EPC [(1)] es un acuerdo entre dos o más partes en el que el pago se basa en el logro de resultados específicos, tales como la reducción del coste energético o el retorno de la inversión dentro de un periodo determinado. Esto es, un contrato en el que se persigue que el ahorro energético, en general a medio o largo plazo, sirva para recuperar la inversión realizada y la empresa de servicios energéticos asuma un riesgo técnico respecto a la consecución del ahorro.

Dado que para conseguir un ahorro es necesario tener una referencia de consumos sobre los que evaluar dicho ahorro, los EPC se utilizan en general para renovar instalaciones técnicas de edificios existentes, de manera que puedan mejorar de forma significativa su eficiencia energética con una garantía de ahorro por parte del contratista. Pese a esto, también es posible aplicar dicha aproximación a edificios de nueva construcción, en los que el consumo de referencia se estima en base a una simulación que estime el consumo que tendría el edificio si fuera construido sin las mejoras eventualmente propuestas, que serán las que generarán ahorro respecto al diseño base. En algunos países centroeuropeos como Países Bajos, esta aproximación se ha utilizado para financiar el sobrecoste de construcción de edificios de alta eficiencia o incluso balance de energía neto cero, en especial en el sector público. Dicho esto, en la actualidad la gran mayoría de EPC se realizan para mejorar edificios existentes, con equipos y sistemas obsoletos.

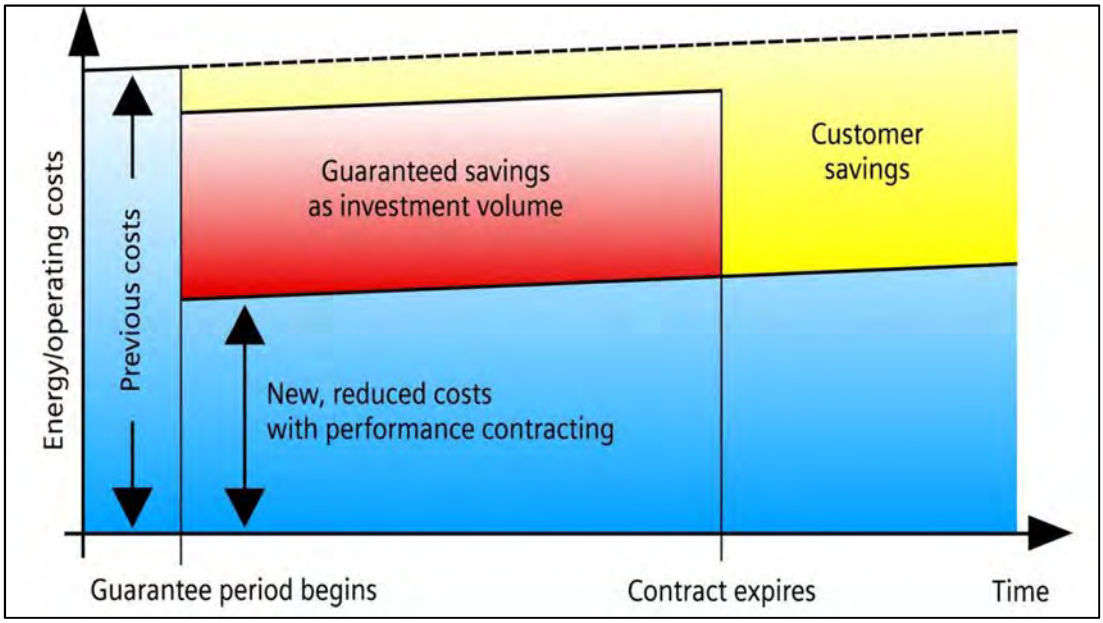



**Figura 1.** *Ilustración del funcionamiento de un EPC. Parte (o la totalidad) del ahorro alcanzado se utiliza para pagar la inversión en las mejoras implantadas.*

En cuanto a la duración del contrato, mayoritariamente viene dictado por el plazo de retorno de la inversión necesaria para implantar las mejoras. En el sector público, donde gobiernos y administraciones tienen un papel ejemplificador, se tiende a plazos largos de entre 8 y 15 años (incluso hasta 25 años en casos puntuales) mientras que el sector privado es menos tolerante a periodos de recuperación largos y acostumbra a abogar por contrataciones de entre 3 y 7 años. El

plazo tiene un gran impacto en el grado de modernización de las instalaciones en pro de la eficiencia, dado que cuanto mayor sea, más medidas de ahorro energético se podrán implantar redundando en un mayor ahorro energético y reducción de emisiones de $CO_2$.

Volviendo a la definición de un contrato de rendimiento energético, queremos destacar que, pese a lo comúnmente interpretado en España, un EPC no incluye necesariamente financiación del programa de ahorro por parte de la empresa de servicios energéticos o por terceros. Lo sustancial a la hora de definir un EPC es si hay una garantía efectiva y sostenida en el tiempo del ahorro energético resultado de la implantación de las mejoras, con independencia de quien financie la inversión vinculada. Dicho esto, es común en el sector público solicitar la provisión de dicha financiación a la ESE, de manera que el contrato no requiera inversión inicial alguna por parte de la administración, pagando a la ESE por la implantación de las mejoras gracias al ahorro generado por éstas, con lo que se puede alcanzar un flujo de caja positivo desde el primer año de vida del contrato.

La Unión Europea, en su estrategia de lucha contra el cambio climático y la descarbonización de la economía, ha apostado de forma clara a favor de la utilización de los EPC para impulsar la mejora del parque edificatorio tanto público como privado, cono se recoge en la Directiva de Eficiencia Energética [(2)] revisada en 2018, en la que se reconoce que hay que eliminar obstáculos para facilitar la inversión en medidas de eficiencia energética, y facilitar la adopción de los EPCs.

En mayo de 2018, EUROSTAT publicó una guía [(3)] sobre el tratamiento contable de los EPCs por parte de la administración pública. La principal novedad que aporta es el hecho que, bajo ciertas condiciones descritas en la misma, las administraciones pueden computar los activos vinculados a un EPC fuera de sus balances contables (por tanto, en el balance de la ESE o la entidad financiera), y por tanto tampoco se genera deuda computable a la administración correspondiente. Esto supone un cambio que favorece la adopción de los contratos de ahorros garantizados en el sector público de la UE. En España, diversos entes autonómicos ya están utilizando esta herramienta para la renovación energética de hospitales y otros edificios públicos.

Mencionaremos, sin ánimo exhaustivo, algunos requisitos que tienen que cumplir los EPC en el sector público para poder beneficiarse del tratamiento favorable que les otorga Eurostat:

| | |
|---|---|
| Alcance | • Se debe incluir gasto de inversión (no gestión energética solamente).<br>• Duración mínima del contrato: 8 años.<br>• Las inversiones en generación energética in-situ no serán superiores al 50% del total de la inversión.<br>• La ESE debe mantener los activos objeto del contrato.<br>• Los ahorros en el periodo de implantación de las medidas serán para la ESE. |
| Ahorros y pagos | • Los ahorros de energía garantizados (ahorros de operación y mantenimiento excluidos de este cálculo) deben ser superiores al pago por parte de la administración, en cada año y en total. |

| | |
|---|---|
| | • Los ingresos por exportación de energía generada in-situ no pueden ser más de un 50% del total de ahorros garantizados. |
| Titularidad y financiación | • La propiedad legal de los activos se transfiere a la administración.<br>• La ESE es el propietario económico de los activos (tiene la mayoría de los riesgos y beneficios vinculados a los mismos).<br>• Se permite la cesión de crédito con la condición de que la ESE siga como responsable de alcanzar los ahorros. |
| Superávit/déficit de ahorros | • La ESE es responsable de los déficits de ahorros, como mínimo de forma proporcional a la ratio de ahorros alcanzados sobre ahorros garantizados.<br>• La ESE se debe beneficiar de como mínimo dos terceras partes del superávit de ahorros. |

**Tabla I.** *Principales requerimientos para computar los EPC fuera de balance de la Administración Pública.*

Entre dichas condiciones, queremos destacar aquellas que son de interés en cuanto a la materia que nos ocupa. Dejando de lado por el momento el requerimiento que la ESE garantice los ahorros y siga un plan de medida y verificación del rendimiento energético, por otro lado, inherente a un EPC, destacan dos condiciones: En primer lugar, la ESE es responsable del mantenimiento de los equipos y sistemas remplazados o de nueva instalación en el edificio dentro del alcance del EPC, y en segundo lugar debe garantizar la disponibilidad de los mismos. Indudablemente, esto significa que, en un EPC para un edificio público, será de vital importancia para la ESE no tan solo el logro de los ahorros sino también la optimización del mantenimiento y el aseguramiento de la disponibilidad de los sistemas técnicos.

En añadidura, a menudo los EPC incluyen otras condiciones reseñables, tales como el aseguramiento de las condiciones de confort ambiental en las zonas ocupadas. Todos estos condicionantes, si bien no constituyen parte de la garantía de ahorro, implican un riesgo técnico para la ESE, que deberá hacer frente a eventuales penalizaciones si incumple las condiciones dictadas en el contrato.

Recapitulando, podemos identificar las siguientes necesidades como vitales para la ESE en el buen desarrollo de un contrato de rendimiento energético:

1) **Medida y verificación del rendimiento**. El ahorro efectivamente alcanzado en cada periodo de reporte se debe determinar mediante técnicas fiables y contrastadas, siguiendo un plan de medida y verificación del rendimiento energético.
2) **Ahorros energéticos**. De su logro en cada periodo de reporte, típicamente anual, depende el pago por parte del cliente. No tan sólo en forma de penalización por incumplimiento para la ESE, sino también con un posible bonus en caso de que el ahorro alcanzado sea superior al garantizado.
3) **Mantenimiento y disponibilidad de las instalaciones**. A menudo los EPC incluyen el mantenimiento y garantía de disponibilidad de equipos. La optimización de los costes asociados es un factor muy importante para la ESE en cuanto a la rentabilidad del contrato.

4) **Calidad ambiental**. A menudo los EPC también incorporan cláusulas de aseguramiento del confort en los edificios, estableciendo penalizaciones en caso de desviaciones significativas.

En los siguientes apartados abordaremos el impacto favorable de los servicios digitales en cada uno de estos aspectos.

## AUTOMATIZACIÓN DE LA MEDIDA Y VERIFICACIÓN

El ahorro energético es, por definición, la ausencia de consumo, por lo que no se puede medir directamente. Sin embargo, se puede medir y cuantificar el consumo antes y después de la implantación del proyecto, de manera que se puede calcular el ahorro asociado, toda vez que se realicen ajustes para reflejar los posibles cambios en las condiciones en que estos consumos tienen lugar. La simple comparación del consumo antes y después no es suficiente para determinar el ahorro directamente asociado a la bondad de las medidas de mejora, ya que el contexto en el que se produce este consumo puede haber variado significativamente. Por ejemplo, en la sustitución de una caldera para calefacción, a fin de determinar el ahorro, es necesario tener en cuenta los grados-día antes y después de la sustitución, ya que las condiciones meteorológicas influyen significativamente en la demanda de calefacción, y por ende en el consumo de combustible, por lo que una mera comparación de consumos antes y después, sin ajustes, daría lugar a un ahorro puramente "contable", pero no reflejaría fielmente la mejora del rendimiento atribuible al nuevo equipo instalado.

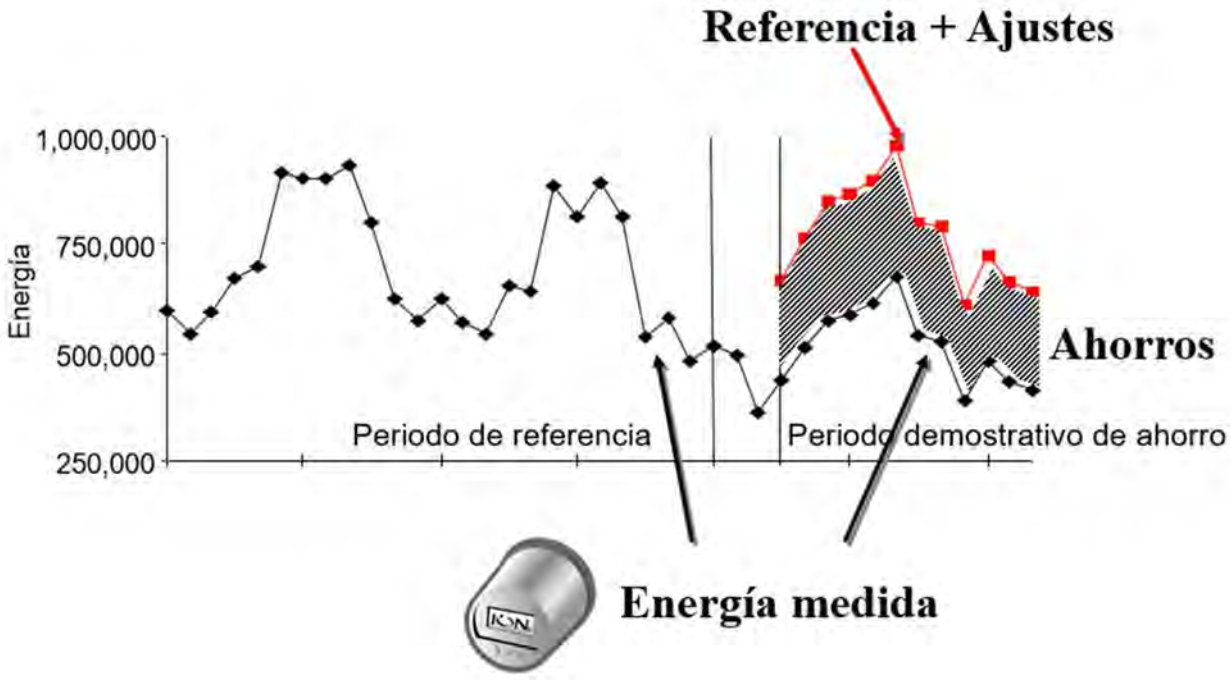



**Figura 2.** *El ahorro energético definido como "energía evitada" se obtiene midiendo el consumo antes y después de la implantación de un proyecto y realizando los ajustes pertinentes para reflejar los cambios en las condiciones de uso, por ejemplo, las distintas condiciones meteorológicas.*

Sin abundar más en las técnicas de medida y verificación del rendimiento, descritas en detalle en el Protocolo Internacional de Medida y Verificación del Rendimiento [(1)], nos centraremos ahora en la importancia de la monitorización energética como base para la medida y verificación.

A menudo los EPC incluyen numerosas medidas de ahorro de distinta naturaleza, por ejemplo, mejoras en la iluminación, climatización, ventilación y estrategias de control, por citar algunas de las más habituales. El esfuerzo y, por tanto, el coste de medir y verificar el ahorro logrado en cada una de ellas puede ser importante. Una vez realizado el plan de medida y verificación y las mediciones del periodo de referencia, de forma continua o recurrente la ESE tendrá que medir el consumo en cada periodo demostrativo, así como recabar las condiciones de operación y funcionamiento, para finalmente al terminar cada periodo, realizar un informe. Estas tareas se antojan intensivas en mano de obra, a no ser que las podamos digitalizar y automatizar lo máximo posible. A continuación, exponemos un caso de estudio: la automatización de la M&V (medida y verificación) realizada para el Museo Thyssen de Madrid. Honeywell realizó una mejora en el sistema de climatización del museo, que incluyó entre otras medidas la sustitución de las plantas enfriadoras y torres de refrigeración, así como la incorporación de variadores de frecuencia en el bombeo de agua enfriada y nuevas secuencias de control para el sistema. Para lograr un reporte puntual y efectivo en coste, se incorporaron en el sistema de gestión EBI (*Honeywell Enterprise Buildings Integrator*) algoritmos de cálculo que recogían la parametrización del rendimiento de las enfriadoras viejas sustituidas, de forma que el sistema de gestión energética integrado en el EBI automatizó el reporte de ahorros de forma diaria. Para cada hora del día, el sistema computa las variables climáticas, temperatura seca (ºC) y humedad relativa (%) así como la demanda frigorífica (kW) y calcula el consumo que hubieran tenido las enfriadoras y torres viejas en estas condiciones.

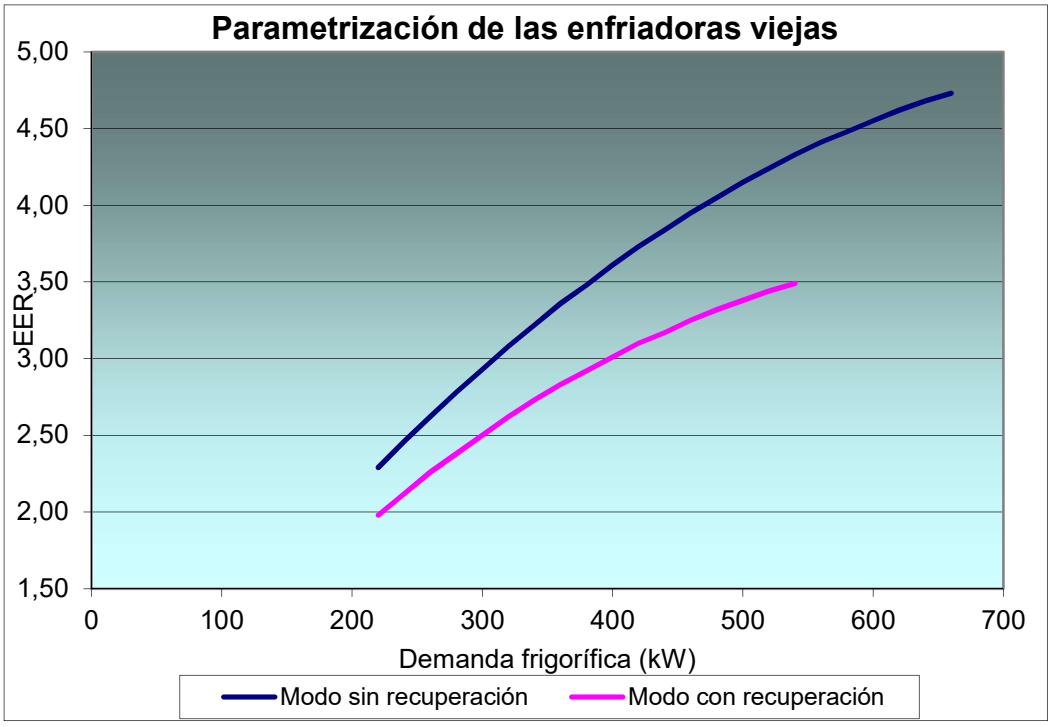



**Figura 3.** *El rendimiento de las enfriadoras viejas se parametrizó en el sistema de gestión para los dos modos de funcionamiento en el Museo Thyssen, en función de la activación de la recuperación de calor para baterías de post-calentamiento.*

A la vez, el sistema monitoriza la potencia de las enfriadoras nuevas (kW) de modo que nos ofrece, para cada hora, el ahorro energético obtenido. El sistema también consolida los datos horarios para cada día y cada mes, además de integrar la tarifa eléctrica, de manera que el Museo monitoriza casi en "tiempo real" los ahorros derivados de dicho proyecto sin tener que incurrir en costes asociados al cálculo y elaboración de informes manuales.

| Mes<br>Agosto | | Ahorros | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Día | T. Exterior<br>ºC | Enfriadoras<br>kWh | Bombas Prim<br>kWh | Bombas Cond<br>kWh | Vent Torres<br>kWh | Bombas Secundario<br>kWh | Ahorro Elec<br>kWh | Ahorro Elec<br>€ | Ahorro Agua<br>m3 | Ahorro Agua<br>€ | Total Ahorro<br>€ | Ahorro kWh<br>% |
| 1 | 24 | 765 | 47 | 186 | -11 | 328 | 1,316 | 95 € | 2 | 3 € | 98 € | 28.6% |
| 2 | 25 | 685 | 51 | 354 | -3 | 328 | 1,414 | 102 € | 1 | 1 € | 104 € | 30.9% |
| 3 | 27 | 621 | 48 | 181 | 18 | 322 | 1,190 | 86 € | 1 | 2 € | 88 € | 25.5% |
| 4 | 25 | 690 | 49 | 354 | -3 | 289 | 1,378 | 100 € | 2 | 3 € | 103 € | 29.9% |
| 5 | 23 | 728 | 59 | 236 | 7 | 302 | 1,332 | 97 € | 1 | 2 € | 99 € | 30.5% |
| 6 | 22 | 932 | 60 | 238 | 7 | 344 | 1,581 | 115 € | 2 | 4 € | 118 € | 36.9% |
| 7 | 25 | 749 | 48 | 354 | -6 | 325 | 1,469 | 106 € | 3 | 5 € | 111 € | 32.4% |
| 8 | 27 | 643 | 48 | 182 | 12 | 328 | 1,212 | 88 € | 1 | 2 € | 90 € | 26.5% |
| 9 | 29 | 507 | 53 | 344 | 47 | 323 | 1,274 | 92 € | 1 | 1 € | 94 € | 27.2% |
| 10 | 30 | 560 | 50 | 189 | 51 | 320 | 1,169 | 85 € | 1 | 2 € | 86 € | 24.5% |
| 11 | 29 | 594 | 52 | 354 | 36 | 290 | 1,326 | 96 € | 1 | 1 € | 97 € | 28.4% |
| 12 | 26 | 752 | 67 | 272 | 35 | 293 | 1,418 | 103 € | 0 | 0 € | 103 € | 32.0% |
| 13 | 24 | 725 | 61 | 354 | 25 | 336 | 1,500 | 109 € | 3 | 5 € | 114 € | 34.0% |
| 14 | 24 | 728 | 47 | 177 | -70 | 329 | 1,211 | 88 € | 1 | 2 € | 90 € | 26.7% |
| 15 | 23 | 603 | 45 | 335 | -48 | 328 | 1,263 | 92 € | 4 | 6 € | 98 € | 28.2% |
| 16 | 24 | 763 | 49 | 185 | -78 | 325 | 1,243 | 90 € | 2 | 4 € | 94 € | 27.5% |
| 17 | 28 | 634 | 50 | 354 | -45 | 320 | 1,312 | 95 € | 1 | 2 € | 97 € | 27.9% |
| 18 | 29 | 609 | 49 | 184 | -33 | 290 | 1,099 | 80 € | 1 | 1 € | 81 € | 23.6% |
| 19 | 31 | 717 | 59 | 361 | 11 | 292 | 1,439 | 104 € | 1 | 1 € | 106 € | 31.5% |
| 20 | 29 | 923 | 111 | 390 | 79 | 360 | 1,864 | 135 € | 2 | 3 € | 138 € | 43.8% |
| 21 | 29 | 521 | 51 | 354 | -46 | 315 | 1,195 | 87 € | 2 | 3 € | 89 € | 24.6% |
| 22 | 28 | 516 | 49 | 185 | -50 | 315 | 1,014 | 73 € | 2 | 3 € | 76 € | 20.8% |
| 23 | 26 | 746 | 52 | 354 | -75 | 313 | 1,390 | 101 € | 2 | 3 € | 104 € | 29.1% |
| 24 | 23 | 704 | 53 | 204 | -88 | 312 | 1,184 | 86 € | 2 | 4 € | 90 € | 25.6% |
| 25 | 25 | 751 | 57 | 354 | -53 | 278 | 1,387 | 100 € | 2 | 3 € | 104 € | 30.4% |
| 26 | 23 | 865 | 64 | 258 | -42 | 296 | 1,440 | 104 € | 3 | 5 € | 109 € | 32.8% |
| 27 | 24 | 855 | 61 | 240 | -41 | 335 | 1,450 | 105 € | 1 | 2 € | 108 € | 33.2% |
| 28 | 23 | 863 | 48 | 354 | -90 | 327 | 1,502 | 109 € | 2 | 4 € | 113 € | 33.2% |
| 29 | 24 | 724 | 48 | 181 | -79 | 327 | 1,201 | 87 € | 2 | 4 € | 91 € | 26.2% |
| 30 | 26 | 791 | 49 | 354 | -45 | 327 | 1,475 | 107 € | 2 | 3 € | 110 € | 32.6% |
| 31 | 20 | 940 | 48 | 179 | -37 | 327 | 1,457 | 106 € | 3 | 5 € | 110 € | 33.3% |
| **Total Mes** | **26** | **22,204** | **1,680** | **8,598** | **-615** | **9,843** | **41,710** | **3,022 €** | **54** | **91 €** | **3,113 €** | **29.5%** |

**Figura 4.** *Ejemplo de reporte mensual de ahorros elaborado para el Museo Thyssen, de forma automatizada mediante el sistema de gestión Honeywell EBI.*

De esta manera, la ESE consigue optimizar sus costes asociados a la M&V del rendimiento, a la vez que el cliente se beneficia de mayor transparencia, al poder acceder a los reportes de forma *on-line* en cualquier momento.

Además de las funciones vinculadas a la M&V del rendimiento, los servicios en la nube permiten un seguimiento 24 horas del consumo energético del edificio, aportando adicionalmente métricas de confort y de desempeño en la ejecución del mantenimiento.

**Figura 5.** *Ejemplo del portal web de usuario (Honeywell Outcome Based Service) para la monitorización del consumo energético, el confort y el desempeño en el mantenimiento.*

## OPTIMIZANDO EL AHORRO ENERGÉTICO

Los servicios digitales en la nube traen consigo otro importante beneficio: permiten una optimización continua de la instalación, adaptándose al uso y condiciones de ésta con mayor eficacia y rapidez, en comparación a las tradicionales secuencias de control programadas en los controladores y la intervención manual del operador del sistema. Mediante la conexión de los sistemas del edificio a la nube, es posible controlar los mismos en base a algoritmos de inteligencia artificial, adecuados para la optimización de sistemas complejos de múltiples variables. El aprendizaje automático (*machine learning*) da a las computadoras la capacidad de aprender sin necesidad de ser programadas explícitamente.

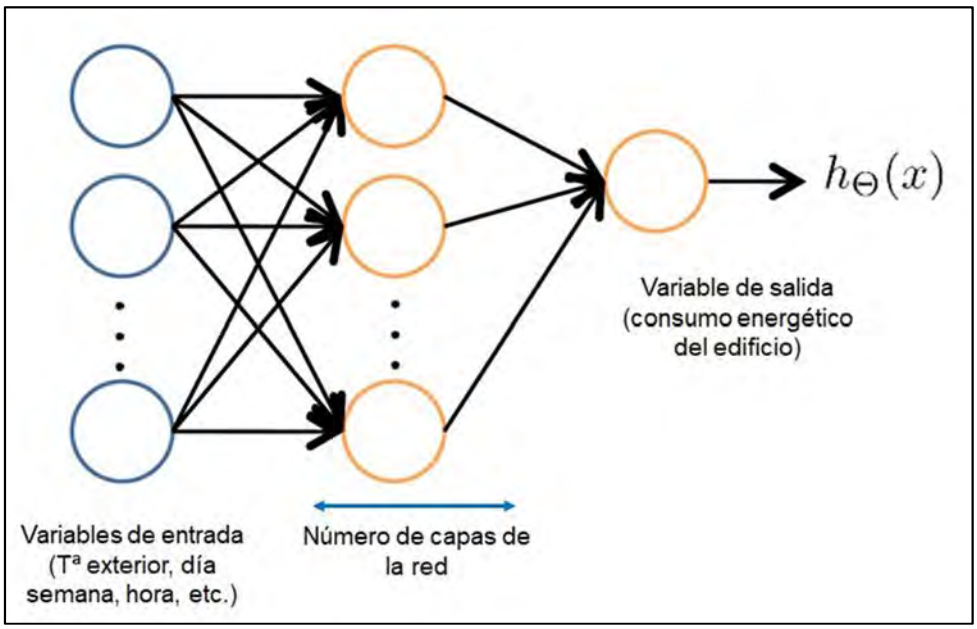



**Figura 6.** *Representación simplificada de una red neuronal para aprendizaje automático del consumo de energía de un edificio.*

Para la aplicación que nos ocupa, que es la optimización del consumo y coste energético del edificio, en primer lugar, debemos crear un modelo que permita predecir el consumo (variable de salida) en función de una serie de parámetros (variables de entrada) tales como la temperatura exterior, el día de la semana, la hora del día, las temperaturas de consigna de las distintas salas, etc. Generar un modelo matemático basado en un programa convencional resulta ciertamente complejo. Por eso precisamente resulta muy útil el aprendizaje automático. Este consiste en el diseño de una red neuronal, que se "entrena" con datos reales de comportamiento del edificio (aprendizaje supervisado), y que es capaz de predecir el consumo de este con exactitud siempre y cuando dispongamos de suficientes datos reales para el entrenamiento.

Una vez hemos obtenido la red neuronal que caracteriza el consumo del edificio, nos queda ejecutar un optimizador, esto es, un algoritmo que busca los valores óptimos de ciertas variables de entrada (por ejemplo: el número de enfriadoras que deben funcionar, la temperatura de consigna de distribución de agua fría, etc.) de manera que se minimice el consumo de energía (variable de salida de la red neuronal).

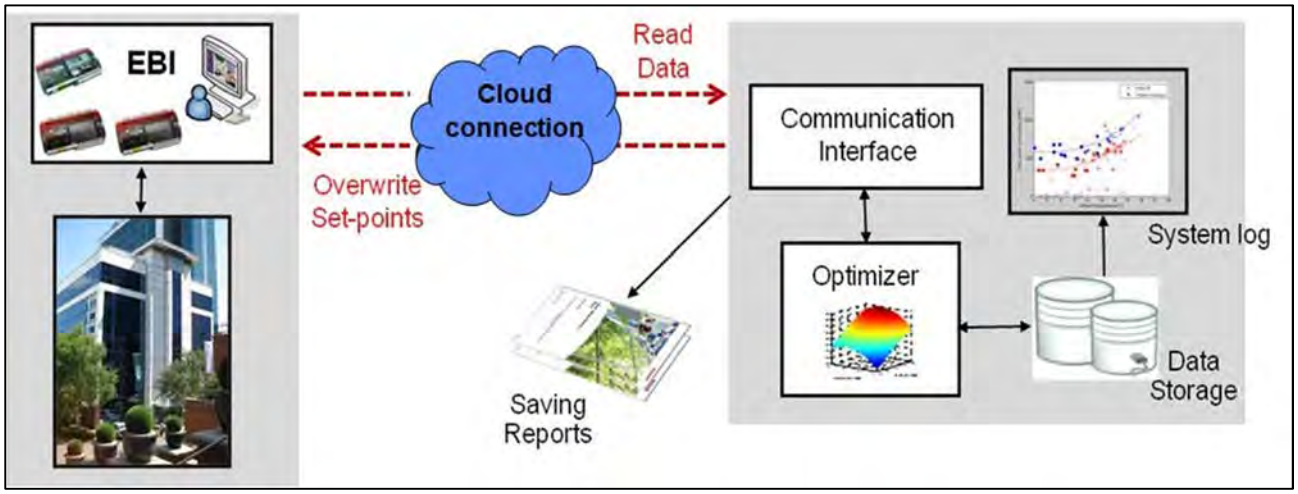



**Figura 7.** *Arquitectura de funcionamiento de un optimizador basado en inteligencia artificial en la nube.*

Para implantar dicha optimización es necesario conectar el sistema de control del edificio a la nube, donde reside el optimizador basado en inteligencia artificial. Esta conexión es bidireccional: lee los estados y valores de las variables del edificio (temperaturas de aire y agua, presiones de distribución, estados de funcionamiento de equipos, datos climáticos, etc.) y sobrescribe en los controladores en el edificio las consignas resultado de la optimización, típicamente cada 5 a 10 minutos en sistemas de HVAC.

Honeywell ha obtenido en varios edificios importantes ahorros en sistemas HVAC con este método, que oscilan entre un 7% y un 20% respecto al consumo del sistema de climatización. Esto sin detrimento del confort, ya que al algoritmo se le fijan unas condiciones fronteras.

Es importantes resaltar que el usuario de dichos sistemas debe tener la potestad para, en cualquier momento y por cualquier circunstancia, desactivar el modo de control en nube y volver a la lógica tradicional de los controladores.

Estas soluciones pueden resultar de gran ayuda en contratos EPC existentes en los que el logro de ahorros garantizados está en riesgo por cualquier causa, pudiendo ser una medida de eficiencia energética adicional que ayude a alcanzar los ahorros garantizados.

## MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y SALUD DE LOS ACTIVOS

El mantenimiento de las instalaciones representa una de las prestaciones más importantes en un EPC. Su optimización, pues, resulta muy importante para evitar averías y roturas, a la vez que reduce su coste global sin detrimento del buen funcionamiento del edificio.

Si conectamos los sistemas del edificio a la nube, podemos monitorizar su estado y parámetros clave, de manera que sustituimos al tradicional mantenimiento basado en revisiones periódicas fijas y correctivos por un mantenimiento mucho más dinámico, que actúa preventivamente basándose en la predicción de ocurrencia de fallos.

Para entender mejor este cambio de paradigma, pondremos como ejemplo el servicio OBS (*Outcome Based Service*) de Honeywell, basado en los siguientes pilares:

1) **Analíticas en tiempo real**. Consiste en el uso de reglas programadas en un motor de analíticas para monitorizar 24/7/365 los datos recibidos del edificio y poder así detectar anomalías y anticiparse a fallos.
2) **Tareas dinámicas**. Cuando las analíticas anteriores detectan una anomalía, se genera un caso que queda reflejado automáticamente en el portal de cliente (*OBS Customer Portal*), y en función de la criticidad del fallo se envía un técnico para que actúe en campo o se analiza para ulterior intervención. Podríamos compararlo con una aplicación de taxi, en la que el vehículo se desplaza cuando surge la necesidad, en lugar de estar conduciendo sin tregua en búsqueda de potenciales clientes.
3) **Informes y cuadros de mando**. El resultado de las analíticas se representa en un portal web de usuario, donde el cliente puede comprobar el desempeño en la ejecución del mantenimiento, además de otros aspectos clave como el confort y el consumo energético. En añadidura, el sistema genera un informe mensual que contiene un resumen de las anomalías halladas, así como estadísticas de mantenimiento y recomendaciones de mejora.
4) **Gestión del ciclo de vida.** Gracias al monitoreo constante de los activos (equipos e instalaciones) y las anomalías de estos, el sistema produce un plan de ciclo de vida, basado en la vida esperada de los equipos, para de esta manera poder planificar su remplazo acorde a su uso y operación y evitar roturas por no haber sustituido ciertos equipos cuando era necesario.
5) **Mejora continua de servicio**. El análisis de las anomalías permite analizar aquellas que se repiten con frecuencia, e hacer frente a sus causas, en lugar de simplemente subsanar sus consecuencias. El servicio también incluye la supervisión periódica del sistema por parte de nuestros técnicos en el centro de operaciones, con la finalidad de refinar las analíticas e incorporar aquellas que se consideren oportunas.

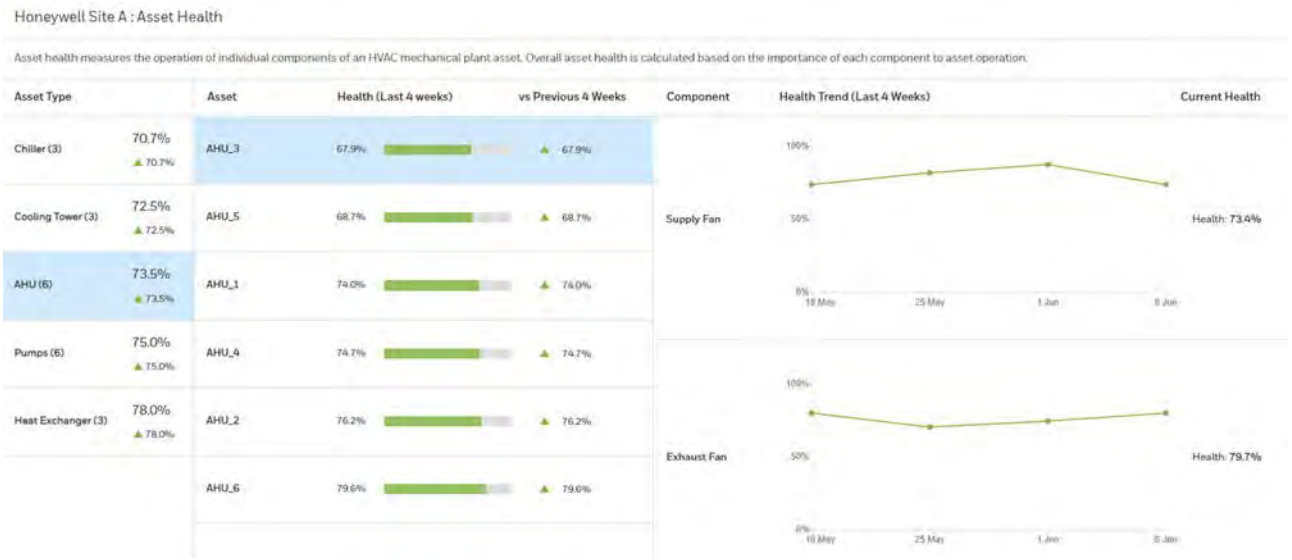



**Figura 8.** *Cuadro de mando para el monitoreo de la salud de los equipos (Honeywell Outcome Based Service).*

Cabe resaltar que, además de las analíticas, resulta conveniente monitorizar la "salud" de los equipos, esto es, la medición de parámetros clave que determinan su buen funcionamiento y rendimiento. Por ejemplo, para un motor de ventilador en una unidad de tratamiento de aire, el parámetro clave es la temperatura del bobinado. Si los valores límite de diseño son 10ºC y 50ºC, podemos definir un porcentaje de "salud" donde 10ºC equivale a un 100% y 50ºC representa un 0%. Si la temperatura media diaria observada se sitúa en 22,4ºC, su salud será de un 69%.

Siguiendo con el ejemplo anterior, podríamos definir la "salud" global del climatizador en base a tres parámetros: temperatura del bobinado del motor, temperatura del variador de frecuencia y presión diferencial del filtro de aire, de manera que determinaríamos la salud global del climatizador como media ponderada de estos tres parámetros.

Finalmente, es aconsejable realizar test de estrés de forma periódica a los equipos críticos de la instalación, como complemento al monitoreo de la salud de los equipos. Este test consiste en mantener el equipo en cuestión a plena carga durante 30 o 60 minutos (en función del impacto en la operativa del edificio). Esto nos añudará a predecir mejor la salud del equipo a largo plazo, y por tanto optimizar el momento idóneo de su remplazo.

## MONITORIZACIÓN Y ASEGURAMIENTO DEL CONFORT

Los servicios en la nube también nos permiten cuantificar y supervisar el confort en el edificio de una forma más fácil, presentando cuadros de mando con las estadísticas para cada estancia y un porcentaje de logro global para el edificio. Esta función es muy beneficiosa para los contratos EPC con exigencias de confort, ya que el cliente puede supervisar el grado de cumplimiento de la ESE sin necesidad de tener que generar informes desde el sistema de gestión del edificio: simplemente accediendo al portal web con su nombre de usuario y clave de acceso puede obtener toda la información, con total transparencia.

**Figura 9.** *Cuadro de mando para el monitoreo del confort térmico, higrométrico, de calidad de aire, lumínico y sonoro (Honeywell Outcome Based Service).*

## CIBERSEGURIDAD

Una de las inquietudes habituales ante la adopción de servicios en la nube es, sin duda, la posibilidad de ataques cibernéticos. Como cualquier sistema físico, los sistemas digitales también son susceptibles de manipulación fraudulenta, si bien esta posibilidad se mitiga en gran medida al adoptar una correcta política de seguridad.

La prevención pasa por un buen diseño e implantación del sistema, que tenga en cuenta estos aspectos, y por un eficiente protocolo de respuesta a incidencias. Honeywell considera la ciberseguridad como una parte inherente en cualquier servicio digital ofrecido, y tiene un foco permanente en los estándares globales para asegurar un protocolo robusto.

**Figura 10.** *Elementos fundamentales de la ciberseguridad (Honeywell Building Solutions).*

## BENEFICIOS MÁS ALLÁ DE LA GESTIÓN TÉCNICA

Finalmente, queremos mostrar otras ventajas de los servicios en la nube, más allá de los presentados anteriormente en relación con las prestaciones vinculadas a los contratos de rendimiento energético.

En primer lugar, aquellas funciones que mejoran la experiencia del usuario del edificio. Mediante Apps para móvil, es posible ofrecer numerosos servicios tales como acreditación electrónica para el acceso al edificio, reserva de salas de reuniones, peticiones de usuario para aumentar/reducir la temperatura de cierta estancia, reserva de almuerzo, entre otros. Todo ello redunda, además, en una mayor productividad de los ocupantes y/o empleados, en el que el edificio se convierte en un ecosistema eficiente.

**Figura 11.** *Aplicación móvil Honeywell Vector para el acceso al edifico, reserva de salas y comida, etc.*

Conocer la utilización real del espacio de oficina resulta sin duda de gran utilidad para el propietario y arrendatario de un edificio. Mediante la instalación de sensores de presencia, es posible obtener mapas de calor que reflejen la utilización de cada área, para así identificar si se requiere ampliar la superficie o si bien si la actual está sobredimensionada. Adicionalmente, se puede utilizar esta información para ajustar las consignas de temperatura y/o aire de renovación en los distintos espacios, de forma que se optimice el consumo por climatización

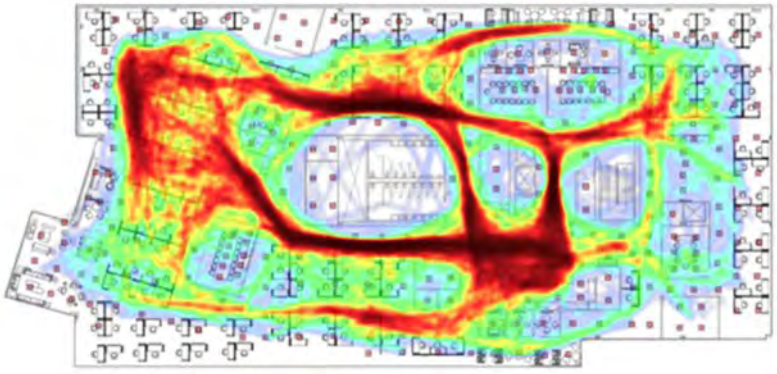


**Figura 12.** *Ejemplo de un mapa de calor para representar la utilización y ocupación por zona y/o planta.*

## CONCLUSIONES

Con la presente tendencia a la concentración de la población en ciudades, se estima que pasamos entre el 80% y el 90% del tiempo en los edificios, que por otra parte representan aproximadamente el 40% del consumo energético a nivel de la Unión Europea.

Al mismo tiempo, el coste de sensores, procesadores y redes de datos se ha reducido drásticamente a lo largo de los últimos años. Esto ha revolucionado la operación y el control en los edificios, siendo posible extraer y analizar información de estos en tiempo real con la finalidad de optimizar su consumo energético, maximizar la experiencia de los usuarios y rentabilizar las inversiones en activos inmobiliarios. Hasta hace poco, las instalaciones técnicas se controlaban con sistemas de gestión locales, de manera que se desperdiciaba el potencial de la analítica de datos en nube para su optimización. Con los nuevos servicios digitales, que son ya una realidad cada vez más extendida, podemos entender mejor el funcionamiento de los edificios y actuar en consecuencia.

Este avance espectacular de la tecnología puede y debe ser aprovechado en los contratos de ahorros garantizados, de manera que consigamos maximizar la eficiencia energética y operacional de los mismos, a la vez que contribuyamos a la descarbonización de nuestra actividad profesional y personal.

## 2. AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar un sentido agradecimiento a todos mis compañeros de Honeywell Building Solutions en España y en el resto de Europa, de los que cada día sigo aprendiendo, trabajando codo a codo, y con los que he compartido mi vida profesional durante los últimos 15 años.

## 3. REFERENCIAS

(1) PHILLIPS, T. et. al. (2016).: "International Performance Measurement and Verification Protocol". *Efficiency Valuation Organization*.

(2) PARLAMENTO EUROPEO (2018): "Directiva (UE) 2018/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018". Parlamento Europeo.

(3) EUROPEAN INVESTMENT BANK, (2018).: "A guide to the Statistical Treatment of Energy Performance Contracts". *Eurostat and European Investment Bank*.

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

10:00 - 12:00

**SESIÓN 1 PLENARIA.**
Modera: Guillermo Escobar. **NATURGY**.

"Gas renovable" **Francisco Javier Torres Calvo**. Responsable de la Unidad de Nuevos Negocios. **NEDGIA**

"El rol de los servicios digitales en la nube en los contratos de rendimiento energético". **Joan Vidal Rull.** Director Técnico Europeo de Eficiencia Energética. **HONEYWELL**

"A multi-HVAC system autonomic management architecture for smart buildings". **Nuria Gallego Salvador.** Directora Técnico Comercial. **FCC INDUSTRIAL**

"Servicio Integral de Eficiencia Energética – Auditoría, Monitorización, Seguimiento, Proyectos y Financiación". **Francisco Conesa**. Desarrollo de negocio. **ACCIONA**

# A multi-HVAC system autonomic management architecture for smart buildings

Nuria Gallego Salvador

J Aguilar, A. Garcés-Jiménez, J. Gómez-Pulido, L. Mendoza, J. Gutiérrez de Mesa, A. Garcia-Tejedor.

1 CEMISID, E.Ingeniería de Sistemas, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela,
2 Center for Res. and Innov. in Knowledge Manag., University of Francisco de Vitoria,
3 Dpto. Ciencias de la Computación, Universidad de Alcalá,

FCC Industrial

aee The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice


1 Introducción

2 Marco teórico y literatura relacionada

3 Arquitectura autónoma

4 Caso de estudio

5 Conclusiones

## 1.- Introducción

# Grupo FCC

**Más de**
**100 años**
de experiencia

**Más de**
**58.000**
empleados

Operaciones en
**más de 30 países**,
45% de los ingresos de
mercados internacionales

Elevada
**visibilidad de ingresos**

**Líder** en Servicios
Medioambientales,
Agua y desarrollo
de infraestructuras

**5.989 M€** de facturación
**861 M€** EBITDA en 2018

**Oferta integrada** de servicios

# Grupo FCC

## Modelo de negocio diversificado

Áreas de Negocio

- Recogida de residuos
- Limpieza viaria
- Tratamiento de residuos urbanos y reciclaje
- Conservación de zonas verdes
- Tratamiento de residuos industriales y reciclaje
- Recuperación de suelos contaminados

- Gestión integral de servicios públicos
- Servicios de operación, Mantenimiento y Asist. técnica
- Diseño, Construcción y Financiación de Infraestructuras hidráulicas

- Obra civil
- Obras ferroviarias
- Edificación
- Industrial
- Concesiones
- Mantenimiento de infraestructuras

- Cemento
- Trading
- Otros Negocios
  (Hormigón, árido, mortero y gestión de residuos en EEUU)

# FCC Industrial
## Actividades

- Viviendas y urbanizaciones
- Edificación no residencial
- Rehabilitación

- Construcción Industrial
- Proyectos “Llave en mano (EPC)”
- Instalaciones electromecánicas
- Redes de distribución eléctrica
- Sistemas de Seguridad y Control
- Mantenimiento de instalaciones y eficiencia
- Mantenimiento de infraestructuras
- Prefabricación
- Imagen corporativa

# FCC Industrial

## Rasgos destacados

Experiencia de
**más de**
**115 años**

Somos
**globales**
**y locales**

Presentes en mercados industriales de oil&gas e instalaciones Electromecánicas y mantenimientos instalaciones

**Más de 3,000 km**
de tubería instalada

Presente en
**más de**
**12 países**

Una de las
**100 primeras**
constructoras
del mundo

**Referente industrial**
en la ejecución selectiva
de grandes obras industriales

# FCC Industrial
## Áreas de Negocio

### Mantenimiento y eficiencia energética

- Desarrollo de servicios de operación, mantenimiento y gestión de la eficiencia energética, desde la asistencia técnica preventiva hasta la solución integral de operación, explotación y optimización de consumos de edificios e instalaciones industriales.
- Soluciones integrales, gestión de la eficiencia y aprovechamiento energético
- Operación y mantenimiento de redes de MT y BT

- los edificios son responsables del 40% del consumo mundial de energía, (HVAC)

- los sistemas HVAC son sistemas no lineales complejos

- proponemos una arquitectura de administración autónoma para sistemas multi-HVAC, un tipo de supervisión inteligente autónoma que permite alcanzar objetivos estratégicos en torno a un problema dado.

- Integran un conjunto de tareas de análisis de datos, que trabajan de forma autónoma y colectiva. Estas tareas interactúan entre sí y tienen diferentes roles en el ciclo: **observar** el proceso, **analizar e interpretar** lo que ocurre en él, y **tomar decisiones** sobre el proceso que permitan alcanzar el objetivo para el cual se diseñó el ciclo.

Las principales contribuciones de nuestro documento son:

i) Proponemos un modelo general holístico basado en el concepto del Ciclo Autónomo de Tareas de Análisis de Datos (*Autonomic Cycle of Data Analysis*), para administrar el consumo de energía en un edificio, que considere todos los aspectos relacionados con la dinámica energética del edificio

ii) Identificamos los diferentes modelos de conocimiento basados en datos necesarios para optimizar y controlar un sistema multi-HVAC en un edificio.

## 2.- Marco teórico y literatura relacionada

### 2.1 Sistemas de climatización (son dinámicos, no lineales).

Hay tres tipos de enfoques de modelado para sistemas HVAC :

- enfoques basados en la física (*white box*), el modelo HVAC se genera utilizando las leyes de la física que gobiernan, (Un conjunto de ecuaciones matemáticas que describen el sistema HVAC).
- enfoques basados en datos (*black box*), los datos del sistema HVAC se recopilan en condiciones de uso normal y/u otras (por ejemplo, situación anormal), y se define una relación entre las variables de entrada y salida, (utilizando técnicas como la regresión o las redes neuronales artificiales, artificial neural networks. (ANN)).
- enfoque del *grey box* (híbrido), el modelo básico se define utilizando los métodos basados en la física, y los parámetros del modelo se determinan mediante el uso de algoritmos de estimación de parámetros basados en los datos recopilados del sistema.

## 2.2 Sistema de control y gestión del edificio

BAS (Building Automation System), BMS (Building Management System), BEMS (Building Energy Management System), or BCS (Building Control System).

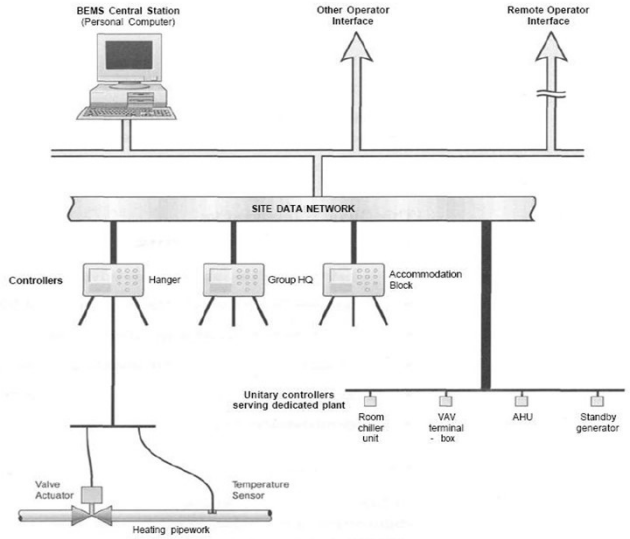



Figura 1. Componentes principales de un BEMS. (Fuente: [37]).

Los tres objetivos principales de un BEMS son:

a) proporcionar un clima interior saludable y agradable;
b) garantizar la seguridad del usuario y del propietario; y
c) garantizar el funcionamiento económico del edificio con respecto a la energía y al personal.

Las capacidades funcionales comunes de un BEMS son:

- Garantizar el funcionamiento de los equipos según las previsiones.
- Suministro de información de gestión energética.
- Monitorización remota de la energía,
- Optimización y control de los servicios y funciones energéticas de un edificio.

2.3 Ciclo autónomo de análisis de datos. (*Autonomic Cycle of Data Analysis*)

Un "Ciclo autónomo de tareas de análisis de datos" es un conjunto de tareas que siguen un enfoque basado en datos, con un objetivo común, para mejorar el proceso en estudio. Los roles de cada tarea en los ciclos autónomos son los siguientes [35, 36]:

- Observar el sistema: estas tareas monitorean el sistema y extraen información sobre su comportamiento. Eso significa que generan una imagen sobre la situación actual.

- Analizar el sistema: estas tareas interpretan, comprenden y diagnostican la situación actual del sistema.

- Tomar decisiones para mejorar el sistema.

Además, un ciclo autónomo requiere [36]:

• Un modelo de datos multidimensional para almacenar los datos recopilados de diferentes fuentes, con el fin de caracterizar el comportamiento del sistema, que será utilizado por las diferentes tareas de análisis de datos.

• Una plataforma para integrar las diferentes herramientas con las técnicas requeridas por las tareas: minería de datos, minería semántica y datos vinculados, entre otros.

• Una plataforma multi-adaptativa, y polivalente, para preparar diferentes entradas (nuevas reglas, cambiar las condiciones exteriores, el cambio climático, diferentes usos)

# Literatura relacionada

## Contexto general

El problema general es la necesidad social de ahorrar energía para la sostenibilidad del planeta. Las normas de la UE (Directivas 2010/31 / UE y 2012/27 / UE) teorizan sobre el diseño de edificios de energía casi cero (NZEB). Existen varias formas identificadas de abordar este desafío, como es el caso de la modernización de edificios [11], la aplicación de estrategias automáticas de control [12], la utilización de la Inteligencia Artificial (IA) y las técnicas evolutivas para la predicción del comportamiento de los edificios [13 ], extendiendo el control hacia conceptos de gestión total [14] y soluciones [15].

En particular, estamos interesados en tres grupos de obras. El primer grupo trata sobre las técnicas de modelado de los sistemas HVAC

Centramos el estudio en tres grupos de obras.

- sobre las técnicas de modelado de los sistemas HVAC y, en particular, sobre los modelos basados en datos.

- sobre la optimización de los sistemas HVAC basados en objetivos múltiples, como el ahorro de energía, la rentabilidad, la maximización del confort y el rendimiento del equipo.

- sobre la autogestión de los sistemas HVAC.

## 3.- Arquitectura autónoma

Objetivo: determinar el funcionamiento óptimo del sistema multi-HVAC.

El Autonomic Cycle of Data Analysis está compuesto por:
- un módulo de optimización, que es responsable de la determinación del modo operativo óptimo para el sistema multi-HVAC,

- y otro que es responsable de la adaptación del sistema multi-HVAC de acuerdo con la decisión del primer componente ( ver Figura 2).

El primer componente explora las diferentes combinaciones de los subsistemas HVAC y selecciona la mejor para la situación actual. El segundo componente adapta el sistema multi-HAVC utilizando las unidades de control y BMS. En general, nuestra arquitectura autónoma utiliza diferentes técnicas de aprendizaje automático para resolver este problema.

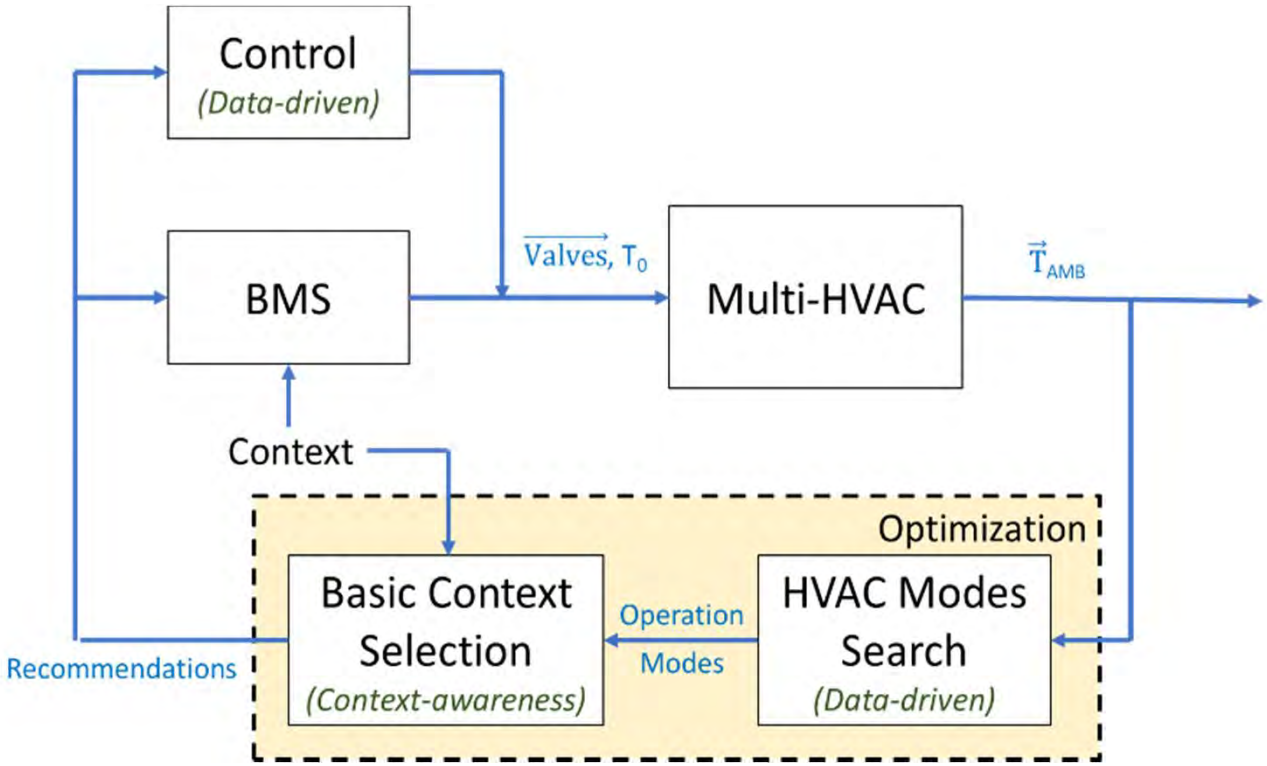



Figura 2. Gestión autonóma multi-HVAC.

Determinación del modo operacional Multi-HVAC.

Exploración de los posibles modos operativos Multi-HVAC

Determinar los mejores modos operativos Multi-HVAC basados en un conjunto de costos objetivos, con el objetivo de optimizar el consumo de energía y maximizar el confort ambiental. De esta manera, el problema se define como un problema de optimización multiobjetivo para optimizar todos los costos.

Definición del problema de optimización multiobjetivo

$$\text{Min}_{\text{HVACmode, t}} \left(P_{\text{Consumed}}(\text{HVAC}_{\text{mode}}, t), \text{Cost}_{P}(\text{HVAC}_{\text{mode}}, t), COP_{global}(\text{HVAC}_{\text{mode}}, t), \text{Comfort}(\text{HVAC}_{\text{mode}}, t)\right) \quad (3)$$

Selección del modo operativo Multi-HVAC a desplegar

La fase anterior propone un conjunto de soluciones (individuos) para cada modo operativo, definido como frentes de Pareto, determinado por la técnica de optimización de objetivos múltiples utilizada. Ahora, el problema de optimización debe considerar los múltiples frentes de Pareto, para seleccionar el modo de operación óptimo, Por ejemplo, hay soluciones que intentan minimizar el COP (modo HVAC, t) pero el resto de funciones objetivas no están optimizadas, y así sucesivamente

Determinación de un Frente General de Pareto.

Análisis de cada frente de Pareto.

Adaptación del sistema Multi-HVAC al modo operativo seleccionado.

# 4.- Caso de estudio

Teatro Real de Madrid. Tiene una superficie total de 65,000m2 (700,000ft2). El teatro tiene capacidad para 1,746 butacas. El área de 1,430m2 (15.400ft2) Cuenta con 11 salones para eventos, 4 salas de ensayo, 7 estudios, oficinas, almacenes y áreas técnicas para reparación. El clima de Madrid es predominantemente seco con inviernos fríos, con un promedio diario de 0 ° C TS (39 ° F) en enero, y los veranos calurosos alcanzan más de 35 ° C TS (95 ° F), 21,4 ° C TH.

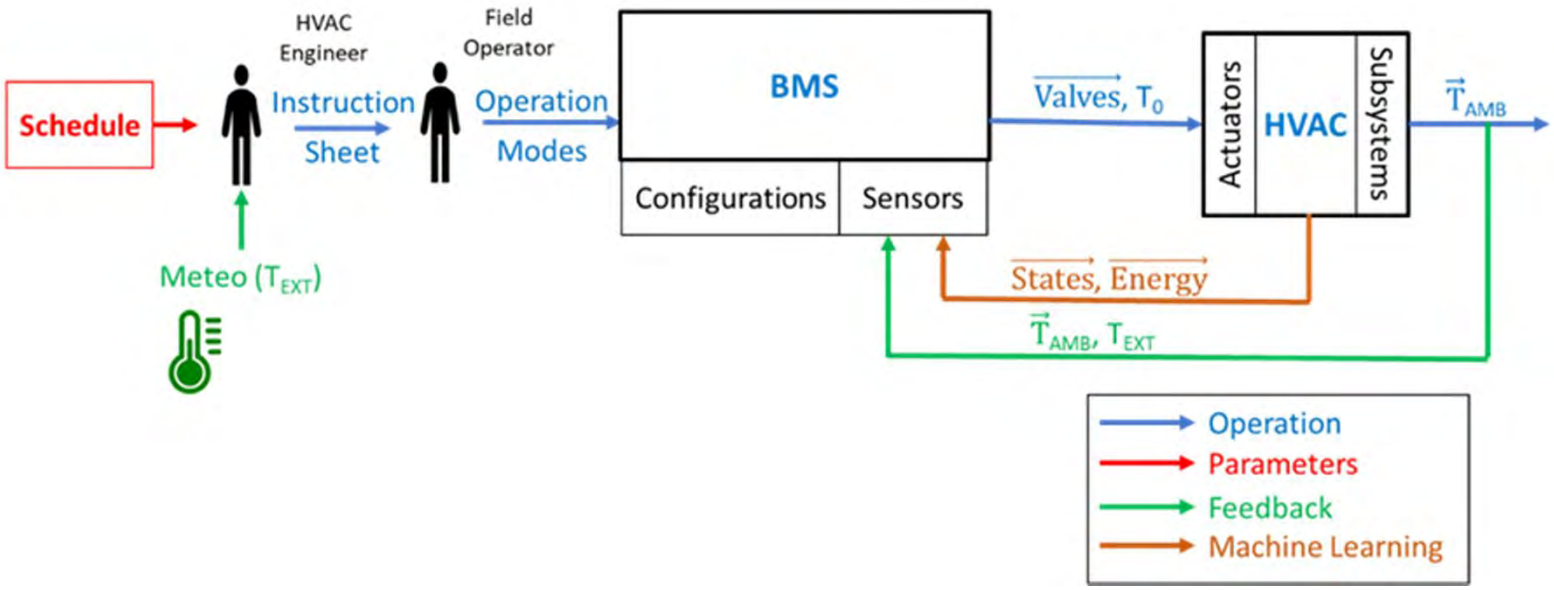
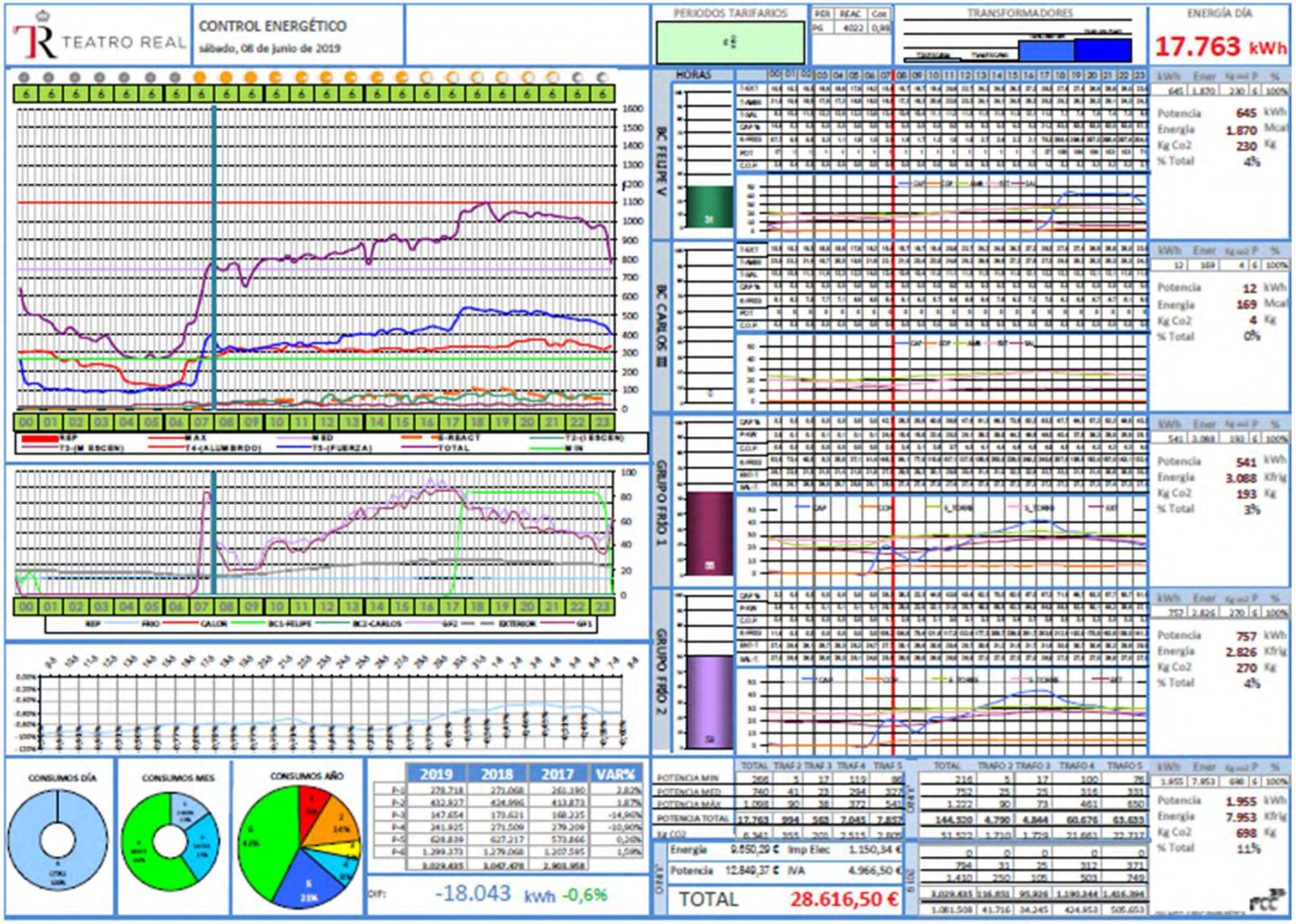
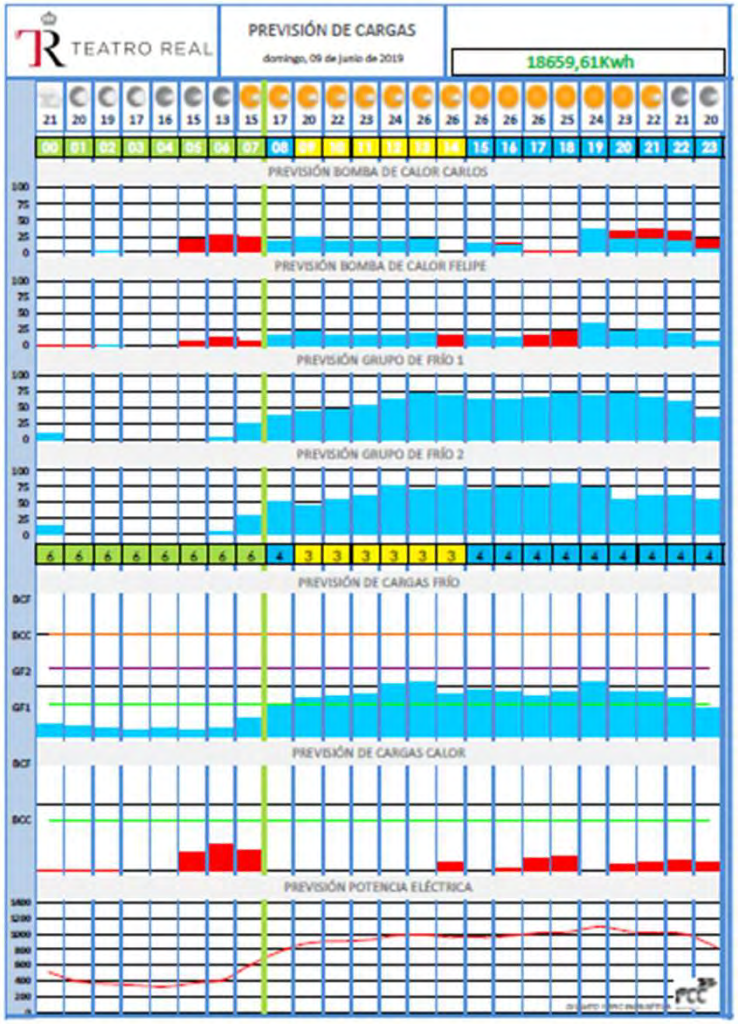
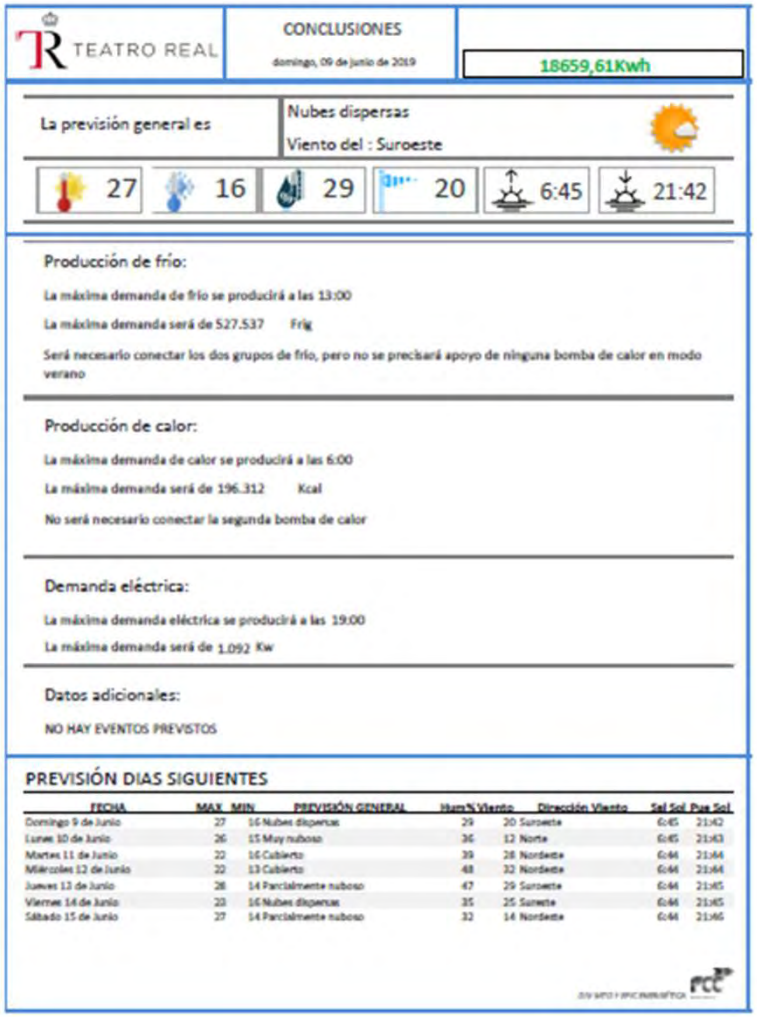



Figure 4. Current operation of the Multi-HAVC system




## II Congreso Internacional Ingeniería Energética


TEATRO REAL
PREVISIÓN DE CARGAS
domingo, 09 de junio de 2019
18659,61Kwh
PREVISIÓN BOMBA DE CALOR CARLOS
PREVISIÓN BOMBA DE CALOR FELIPE
PREVISIÓN GRUPO DE FRÍO 1
PREVISIÓN GRUPO DE FRÍO 2
PREVISIÓN DE CARGAS FRÍO
PREVISIÓN DE CARGAS CALOR
PREVISIÓN POTENCIA ELÉCTRICA


TEATRO REAL
CONCLUSIONES
domingo, 09 de junio de 2019
18659,61Kwh
La previsión general es
Nubes dispersas
Viento del : Suroeste
27
16
29
20
6:45
21:42
Producción de frío:
La máxima demanda de frío se producirá a las 13:00
La máxima demanda será de 527.537 Frig
Será necesario conectar los dos grupos de frío, pero no se precisará apoyo de ninguna bomba de calor en modo verano
Producción de calor:
La máxima demanda de calor se producirá a las 6:00
La máxima demanda será de 196.312 Kcal
No será necesario conectar la segunda bomba de calor
Demanda eléctrica:
La máxima demanda eléctrica se producirá a las 19:00
La máxima demanda será de 1.092 Kw
Datos adicionales:
NO HAY EVENTOS PREVISTOS
PREVISIÓN DIAS SIGUIENTES
FECHA MAX MIN PREVISIÓN GENERAL Hum% Viento Dirección Viento Sal Sol Pue Sol
Domingo 9 de Junio 27 16 Nubes dispersas 29 20 Suroeste 6:45 21:42
Lunes 10 de Junio 26 15 Muy nuboso 36 12 Norte 6:45 21:43
Martes 11 de Junio 22 16 Cubierto 39 28 Nordeste 6:44 21:44
Miércoles 12 de Junio 22 13 Cubierto 48 32 Nordeste 6:44 21:44
Jueves 13 de Junio 28 14 Parcialmente nuboso 47 29 Suroeste 6:44 21:45
Viernes 14 de Junio 23 16 Nubes dispersas 35 25 Sureste 6:44 21:45
Sábado 15 de Junio 27 14 Parcialmente nuboso 32 14 Nordeste 6:44 21:46

# Utilización de nuestro ciclo autónomo

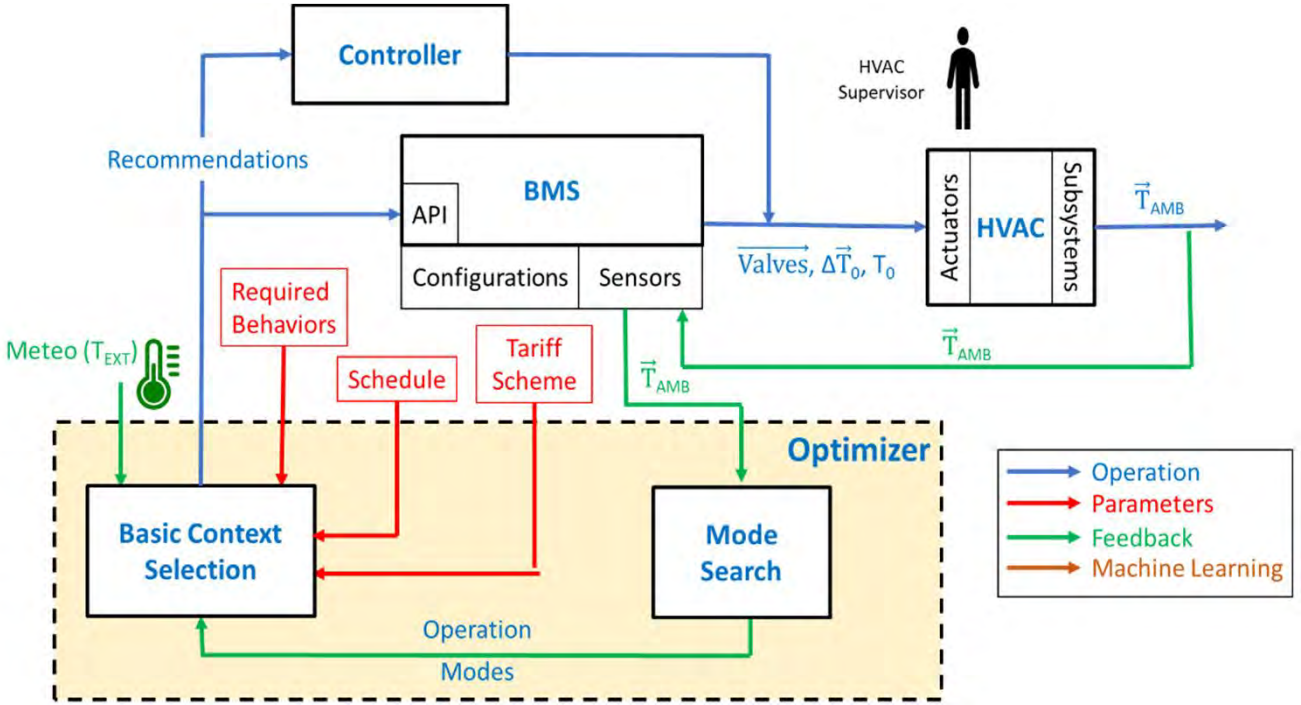



Figure 5. Installation of our Autonomic Cycle in the Opera Building

# 5.- Conclusiones

- Propuesta una arquitectura de administración autónoma para sistemas multi-HVAC, basada en el concepto de Ciclo Autónomo de Tareas de Análisis de Datos . Auto-optimización de un sistema multi-HVAC.

- Selección del mejor individuo de los conjuntos del Frente de Pareto (se construye un Frente de Pareto para cada modo operacional posible).

- Se proponen dos alternativas para resolver este problema, la utilización de un sistema de decisión difuso para seleccionar al mejor individuo de los diferentes frentes de Pareto, que considera la situación actual en el contexto, o la utilización de un Frente de Pareto global, desde el Fusión de los diferentes conjuntos de Frentes de Pareto.

# Referencias


[1] Mauro, G. M., Hamdy, M., Vanoli, G. P., Bianco, N., & Hensen, J. L. (2015). A new methodology for investigating the cost-optimality of energy retrofitting a building category. *Energy and Buildings*, 107, 456-478.

[2] Serale, G., Fiorentini, M., Capozzoli, A., Bernardini, D., & Bemporad, A. (2018). Model predictive control (MPC) for enhancing building and HVAC system energy efficiency: Problem formulation, applications and opportunities. *Energies*, 11(3), 631.

[3] Shaikh, P. H., Nor, N. B. M., Nallagownden, P., Elamvazuthi, I., & Ibrahim, T. (2014). A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 409-429.

[5] Rocha, P., Siddiqui, A., & Stadler, M. (2015). Improving energy efficiency via smart building energy management systems: A comparison with policy measures. *Energy and Buildings*, 88, 203-213.

[8] Reynolds, J., Rezgui, Y., Kwan, A., & Piriou, S. (2018). A zone-level, building energy optimisation combining an artificial neural network, a genetic algorithm, and model predictive control. *Energy*, *151*, 729-739.

[9] Wang, F., Yoshida, H., & Ono, E. (2009). Methodology for optimizing the operation of heating/cooling plants with multi-heat-source equipments. *Energy and Buildings*, 41(4), 416-425.

[34] Aguilar J., Sanchez M, Cordero J., Valdiviezo P., Barba L., Chamba L. (2018) Learning Analytics Tasks as Services in Smart Classroom, *Universal Access in the Information Society Journal*, 17(4) 693–709.

[35] Vizcarrondo J., Aguilar J., Exposito E., Subias *A.* (2017) MAPE-K as a Service-oriented Architecture, *Revista IEEE Latinoamerica Transactions*, 15 (6) 1163-1175.

[36] Aguilar J., Cordero J., Buendia O. (2018) Specification of the Autonomic Cycles of Learning Analytic Tasks for a Smart Classroom, *Journal of Educational Computing Research,* 56 (6) 866-891.

[37] Roth, K., Llana P. Detlef W. Brodrick J. (2005) Automated whole building diagnostics. *ASHRAE Journal*, 47 (5).

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Nuria Gallego Salvador

# A multi-HVAC system autonomic management architecture for smart buildings

***Marco de trabajo FCC Industrial, y Caso práctico***

**N. Gallego Salvador[1,4],**

1. FCC Industrial, ngallegos@fcc.es, Avda Camino de Santiago 40, 28050 Madrid.

***Paper***

**N. Gallego Salvador[1,4],J Aguilar[2], A. Garcés-Jiménez[3], J. Gomez-Pulido[4], Luis A. Mendoza Pitti[4], J. Gutiérrez de Mesa[4], A. Garcia-Tejedor[3]**

2. CEMISID, Escuela de Ingeniería de Sistemas, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, aguilar@ula.ve
3. Center for Res. and Innov. in Knowledge Manag., University of Francisco de Vitoria, Pozuelo, Spain, albertogarces0@gmail.com, , a.garcia.prof@ufv.es
4. Dpto. Ciencias de la Computación, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, Spain, jose.gomez@uah.es, mnuria.gallego@edu.uah.es; j, jantonio.gutierrez@uah.es, l.mendoza@edu.uah.es

**Resumen:**
Dentro de los objetivos de FCC Industrial en el marco de la eficiencia y ahorro energético cabe destacar el desarrollo de soluciones integrales que mejoren las condiciones de explotación de las instalaciones que opera y mantiene.
En la línea de propuestas a implantar en edificios existentes, se centra la investigación que se resumen en el presente documento. El *paper* completo se ha llevado a cabo junto con otros investigadores (enunciados).
Se propone una arquitectura de gestión autónoma para sistemas de climatización y ventilación (multi-HVAC) destinados al confort de espacios interiores en edificios, basada en el concepto de *Ciclo Autónomo de Tareas de Análisis de Datos* (*Autonomic Cycle of Data Analysis Tasks*). Los sistemas HVAC están compuestos por diversos subsistemas (producción de frío y/o calor, distribución de los fluidos caloportadores, agua, aire, refrigerante, elementos terminales, equipos de regulación y control). Un sistema multi-HVAC requiere la determinación / selección de su modo funcional correcto para un contexto dado, con el fin de minimizar el consumo energético manteniendo el máximo confort ambiental de los bienes, equipos y personas, en base a las variables establecidas. En particular, la arquitectura propuesta se compone de un conjunto de tareas, que explota los datos en el sistema, con el fin de gestionar el sistema multi-HVAC de manera eficiente.
Se expondrá la aplicación paulatina de la arquitectura de administración autónoma del sistema multi-HVAC en casos de estudio reales por FCC Industrial.

**Palabras clave**: *sistemas HVAC, computación autonómica, analítica de datos, construcción inteligente*. (*HVAC Systems, Autonomic Computing, Data Analytic, Smart Building)*

## 1. Introducción

FCC Industrial, desde las áreas sistemas y de mantenimiento y eficiencia energética, desarrolla e implementa soluciones integrales en las instalaciones que opera y mantiene. Centrándonos en el mantenimiento de edificios cuenta con referencias en la que actualmente presta sus servicios, tales como:

- Teatro Real de Madrid
- Biblioteca Nacional
- Museo de la Ciencia en Alcobendas (FECYT)
- Torre Titania
- Torre Puerta Europa
- Aeropuerto de Málaga
- Wanda Metropolitano
- Hospital de Granada
- ...

En su afán de ofrecer soluciones a sus clientes de ahorro y mejora en la operación de las condiciones interiores mantiene varias líneas de investigación en desarrollo.

Se describe a continuación la dedicada al despliegue de una arquitectura inteligente, que optimice las condiciones de funcionamiento y maximice el ahorro energético referido a los sistemas de HVAC en los edificios, a implementar sobre los sistemas de control existentes.
Centrándonos en la investigación concreta, Estudios recientes han concluido que los edificios son responsables del 40% del consumo mundial de energía, principalmente atribuido a los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) [1]. Por lo tanto, la gestión del consumo de energía de los edificios es muy importante por razones económicas, sociales y ambientales. Especialmente, es importante administrar de manera eficiente los sistemas HVAC para disminuir el uso de energía.

Los sistemas HVAC son sistemas no lineales muy complejos, debido a la interacción de un gran número de subsistemas (por ejemplo, calderas, tuberías, enfriadores, conductos, bombas de calor, entre otros elementos). Se han propuesto muchos enfoques para controlar los sistemas HVAC (residenciales, comerciales, etc.) para la eficiencia energética, como los controles adaptativos no lineales o los controles predictivos del modelo (MPC) [2]. Sin embargo, algunos de ellos no consideran explícitamente la comodidad como una variable importante. En general, es necesario incluir el control de confort en cualquier estrategia de optimización de ahorro de energía. El MPC es quizás la técnica más popular propuesta para el control de la comodidad de edificios existentes, en condiciones de ocupación normales [3]. De esta manera, la operación eficiente de un sistema de HVAC depende en gran medida de su sistema de control que considera varios parámetros, como la comodidad, para mejorar la eficiencia energética.

Específicamente, proponemos una arquitectura de administración autónoma para sistemas multi-HVAC, basada en el concepto Ciclo Autónomo de Tareas de Análisis de Datos [34, 35], que es un tipo de supervisión inteligente autónoma que permite alcanzar objetivos estratégicos en torno a un problema dado. Los ciclos autónomos integran un conjunto de tareas de análisis de datos, que trabajan de forma autónoma y colectiva para lograr los objetivos estratégicos perseguidos por estos ciclos. Estas tareas interactúan entre sí y tienen diferentes roles en el ciclo [35]: observar el proceso, analizar e interpretar lo que ocurre en él, y tomar decisiones sobre el proceso que permitan alcanzar el objetivo para el cual se diseñó el ciclo.

Las tareas de nuestro ciclo autónomo desarrollan diferentes modelos de conocimiento, para alcanzar sus objetivos. Por ejemplo, existen modelos de conocimiento *para predecir (modelo predictivo*) el comportamiento de algunas variables (por ejemplo, el costo de la energía o la emisión de CO2), o *para definir la relación entre las variables (modelo de identificación*), *para optimizar* el modo operativo del Sistema multi-HVAC (*modelo de optimización*), o *para gestionar el rendimiento* del sistema multi-HVAC (*modelo de control*). Se basan en la física del sistema o en los registros históricos del edificio en todas las condiciones de trabajo posibles, para construir / entrenar los modelos. De esta manera, nuestra solución es general y se puede personalizar para cada contexto (edificio) con una fase de capacitación, con el fin de construir los respectivos modelos de conocimiento para cada situación.

Las principales contribuciones de nuestro documento son:

i) Proponemos un modelo general holístico basado en el concepto del Ciclo Autónomo de Tareas de Análisis de Datos, para administrar el consumo de energía en un edificio, que considere todos los aspectos relacionados con la dinámica energética del edificio

ii) Identificamos los diferentes modelos de conocimiento basados en datos necesarios para optimizar y controlar un sistema multi-HVAC en un edificio.

Este documento muestra un resumen de un *paper* global que se organiza de la siguiente manera:

- la sección 2 presenta los fundamentos de los sistemas HVAC y el Ciclo Autónomo de Tareas de Análisis de Datos,
- la sección 3 describe los trabajos relacionados.
- la Sección 4 describe nuestra arquitectura de gestión autónoma de sistemas multi-HVAC
- la Sección 5 ilustra la utilización de nuestra arquitectura en varios estudios de caso y una comparación con otros trabajos.
- Finalmente, las conclusiones y otros trabajos se mencionan en la sección 6.

Se mostrará de forma extractada cada uno de los apartados enunciados

## 2.- Marco teórico

### 2.1 Sistemas de climatización

Los sistemas de HVAC se desarrollan para mantener las condiciones de confort de los ocupantes (personas, bienes y equipos) en el interior de los edificios. Aun siendo el principal consumidor de los edificios en la actualidad, la mejora en su eficiencia implica no dejar al margen el mantenimiento de las condiciones de calidad del ambiente interior dentro de unas premisas reguladas.
Múltiples investigaciones demuestran que una buena gestión y control del sistema HVAC en un edificio puede proporcionar un ahorro de energía con un ambiente interior satisfactorio [5]. El funcionamiento eficiente de un sistema HVAC depende de su sistema de control y sus parámetros. Para eso, se requiere el modelado del sistema HVAC y la implementación de técnicas de optimización adecuada. Los investigadores han demostrado que una gestión adecuada de un sistema HVAC en un edificio puede proporcionar un ahorro de energía con un ambiente interior satisfactorio [5]. El funcionamiento eficiente de un sistema HVAC depende de su sistema de control y sus parámetros. Para eso, se requiere el modelado del sistema HVAC y la implementación de técnicas de optimización.

De esta manera, el modelado de sistemas de HVAC es necesario para estudiar y controlar el consumo de energía y la comodidad del ambiente interior, entre otras cosas. Los sistemas de HVAC poseen una estructura compleja que comprende equipos de transferencia de calor y de masa.
En general, un sistema HVAC es dinámico, no lineal, debido a sus propiedades físicas, como alta inercia térmica, factores de perturbación inciertos, tiempo de demora real, entre otros.

Teniendo en cuenta las características y los parámetros de los sistemas HVAC, es un desafío generar un modelo preciso y eficaz para estos sistemas. Hay tres tipos de enfoques de modelado para sistemas HVAC [6]:

- un enfoque basado en datos, un enfoque basado en la física y un enfoque de *grey box* (híbrido)
- en los enfoques basados en la física ***(****white box***)**, el modelo HVAC se genera utilizando las leyes de la física que gobiernan, como el balance de flujo, la transferencia de calor y el balance de energía y masa, y el conocimiento sobre el proceso, para definir Un conjunto de ecuaciones matemáticas que describen el sistema HVAC.
- en los enfoques basados en datos (*black box*), los datos del sistema HVAC se recopilan en condiciones de uso normal y / u otras (por ejemplo, situación anormal), y se define una relación entre las variables de entrada y salida, utilizando técnicas como la regresión o las redes neuronales artificiales, *artificial neural networks.* (ANN).

Finalmente, en el enfoque del *grey box* , el modelo básico se define utilizando los métodos basados en la física, y los parámetros del modelo se determinan mediante el uso de algoritmos de estimación de parámetros basados en los datos recopilados del sistema.

## 2.2 Sistema de control y gestión del edificio

A medida que crece la complejidad de un sistema HVAC, se requiere un sistema de gestión. Son conocidos por diferentes nombres, como BAS (Building Automation System), BMS (Building Management System), BEMS (Building Energy Management System), or BCS (Building Control System). dependiendo de qué aspecto se enfoca en: propósito general, energía , control o automatización. Estos sistemas conectan los puntos de ajuste, los controladores de dispositivos, la lógica del sistema, los temporizadores, los registros de tendencias o las alarmas que provienen de los diferentes subsistemas o controladores simples, y proporcionan una interfaz amigable para administrar el sistema [5].

Nos focalizaremos en los sistemas de gestión de energía de un edificio. En general, un sistema de gestión de energía del edificio (BEMS) es un componente del edificio para monitorear y controlar sus necesidades de energía. Para eso, el sistema debe controlar y administrar una gran variedad de factores dentro del edificio, como los sistemas de HVAC, la iluminación, el agua caliente y los ascensores, entre otros. La tecnología BEMS se puede aplicar tanto en edificios residenciales como comerciales y en el sector terciario, oficinas, hospitales, escuelas y entretenimiento.
Los componentes mínimos de un BEMS son (ver Figura 1): una estación central; una conexión (normalmente, a través de Internet) de la estación central a las estaciones remotas, también llamadas controladores. La estación central tiene una interfaz con las estaciones remotas remotas, y puede controlar varias funciones de ellas, dependiendo de las necesidades del cliente (por ejemplo, la energía, la seguridad, etc.).

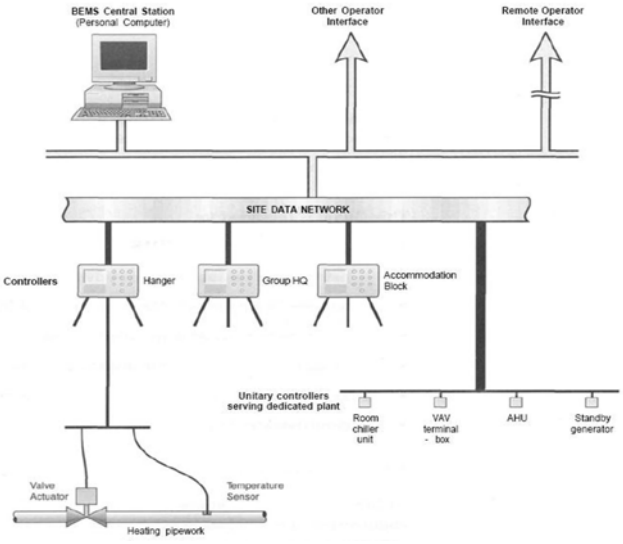



Figura 1. Componentes principales de un BEMS. (Fuente: [37]).

Los tres objetivos principales de un BEMS son:
a) proporcionar un clima interior saludable y agradable;
b) garantizar la seguridad del usuario y del propietario; y
c) garantizar el funcionamiento económico del edificio con respecto a la energía y al personal.
Las capacidades funcionales comunes de un BEMS son:

- Garantizar el funcionamiento de los equipos según las previsiones.
- Suministro de información de gestión energética.
- Monitorización remota de la energía,
- Optimización y control de los servicios y funciones energéticas de un edificio.

Todavía no está claro cuánto puede reducir un BEMS el uso de energía y a qué costo. Las estimaciones sobre el ahorro de energía difieren considerablemente y se requiere más investigación y desarrollo. Algunos autores estiman un ahorro de energía de hasta un 27%, en comparación con la ausencia de BEMS [8], otros estiman un ahorro de energía de hasta un 20% en la calefacción de espacios y un 10% en iluminación y ventilación [9].
Por otro lado, un sistema de gestión de edificios (BMS), también conocido como sistema de automatización de edificios (BAS), es un sistema de control basado en computadora instalado en edificios que controla y administra los equipos mecánicos, eléctricos y electromecánicos del edificio, como la calefacción. , luces, sistemas HVAC, sistemas contra incendios, ascensores y sistemas de seguridad. De esta manera, un BMS es un concepto más general, que incluye un BMES. Algunos de los beneficios del uso de un BMS son: aumentar la eficiencia energética, mejorar las condiciones ambientales, mejorar los estándares de funcionamiento de la planta / edificio, mejorar la administración del edificio y un uso más eficiente del personal.

La siguiente evolución son los entornos de edificios inteligentes en un contexto de hiperconectividad, con BMS inteligentes integrados basados en IoT (Internet of Things), análisis avanzados, entre otros. Por lo tanto, se requieren nuevos conceptos basados en el paradigma de la computación autonómica, a fin de darles la autonomía para trabajar en estos entornos. Este es el objetivo de nuestra arquitectura.

### 2.3 Ciclo autónomo de análisis de datos. (*Autonomic Cycle of Data Analysis)*

Un "Ciclo autónomo de tareas de análisis de datos" es un conjunto de tareas que siguen un enfoque basado en datos, con un objetivo común, para mejorar el proceso en estudio [6]. Las tareas de análisis de datos explotan los datos recopilados para construir modelos de conocimiento que describen, optimizan y predicen, entre otras cosas, el comportamiento de los sistemas. Las tareas interactúan entre ellas y con el sistema, y tienen diferentes roles: observar el proceso, analizar e interpretar lo que sucede en él, o tomar decisiones para mejorar el proceso. De esta manera, es muy importante integrar estas tareas, a fin de utilizar los datos del entorno de manera coherente para generar conocimiento útil y estratégico.
Específicamente, los roles de cada tarea en los ciclos autónomos son los siguientes [35, 36]:

• Observe el sistema: estas tareas monitorean el sistema y extraen información sobre su comportamiento. Eso significa que generan una imagen sobre la situación actual. En general, algunos de estos datos se pueden predecir, estimar utilizando otra información y requieren procesos de extracción y preparación, entre otras cosas.

• Analizar el sistema: estas tareas interpretan, comprenden y diagnostican la situación actual del sistema. Eso significa que, con estas tareas, se construyen modelos de conocimiento sobre la dinámica del sistema, utilizando los datos preparados previamente en la fase anterior.

• Tomar decisiones para mejorar el sistema. Estas tareas afectan la dinámica del sistema porque toman decisiones para mejorarlo (por ejemplo, para garantizar el confort requerido en el edificio o el ahorro de energía).

Un ciclo autónomo de Tareas de análisis de datos explota los datos del sistema y los datos externos. Específicamente, un ciclo autónomo necesita mecanismos para la extracción de datos del sistema, para la preparación de los datos y para la generación de conocimiento, entre otras cosas. Las tareas pueden utilizar técnicas de minería de datos, técnicas de minería semántica, entre otras técnicas, y pueden emplear diferentes tipos de representaciones de conocimiento: ontologías, mapas cognitivos, etc.
Además, un ciclo autónomo requiere [36]:

• Un modelo de datos multidimensional para almacenar los datos recopilados de diferentes fuentes, con el fin de caracterizar el comportamiento del sistema, que será utilizado por las diferentes tareas de análisis de datos.

• Una plataforma para integrar las diferentes herramientas con las técnicas requeridas por las tareas: minería de datos, minería semántica y datos vinculados, entre otros.

• Una plataforma multi-adaptativa, y polivalente, para preparar diferentes entradas (nuevas reglas, cambiar las condiciones exteriores, el cambio climático, diferentes usos)

En particular, si el ciclo autónomo considera datos de flujo, entonces se requieren operaciones de extracción, transformación y carga que utilizan mecanismos de minería de datos. De lo contrario, si el ciclo autónomo considera fuentes fuera de línea como los registros de la Web, entonces se requieren procesos de recopilación y curación de datos, utilizando herramientas de datos vinculados y minería semántica.

## 3. Literatura relacionada

El objetivo de esta investigación no se ha abordado completamente en la literatura científica, lo que requiere una visión integral de las publicaciones existentes para apoyar esta nueva visión. La implementación de un ciclo autónomo de tareas de análisis de datos para administrar un sistema HVAC apunta más allá de una simple automatización de control del sistema, o la aplicación de técnicas en parámetros optimizables, como energía, confort o costo, para mejorar las operaciones actuales o futuras. En el *pape*r se relata el estudio completo de la literatura disponible, que se ha centrado en las siguientes áreas:

### 3.1 Contexto general

El problema general es la necesidad social de ahorrar energía para la sostenibilidad del planeta. Las normas de la UE (Directivas 2010/31 / UE y 2012/27 / UE) teorizan sobre el diseño de edificios de energía casi cero (NZEB). Existen varias formas identificadas de abordar este desafío, como es el caso de la modernización de edificios [11], la aplicación de estrategias automáticas de control [12], la utilización de la Inteligencia Artificial (IA) y las técnicas evolutivas para la predicción del comportamiento de los edificios [13 ], extendiendo el control hacia conceptos de gestión total [14] y soluciones [15].
En particular, estamos interesados en tres grupos de obras. El primer grupo trata sobre las técnicas de modelado de los sistemas HVAC y, en particular, sobre los modelos basados en datos. El segundo grupo trata sobre la optimización de los sistemas HVAC basados en objetivos múltiples, como el ahorro de energía, la rentabilidad, la maximización del confort y el rendimiento del equipo. El último grupo trata sobre la autogestión de los sistemas HVAC. Vamos a revisar la literatura sobre estos dominios.

**3.2 Trabajos sobre las técnicas de modelado de sistemas de climatización**.
La complejidad dinámica de los sistemas HVAC de los edificios existentes es difícil de simular debido a que la documentación es escasa y desestructurada, el rendimiento del equipo es desconocido y puede operarse a través de hábitos adquiridos durante mucho tiempo. Algunos autores modelan sistemas HVAC de edificios con redes neuronales o redes neuronales profundas. Otros consideran restricciones físicas, o la utilización de técnicas de big data para mejorar las operaciones de edificios existentes, considerando un sistema HVAC como un sistema ciberfísico. Varios estudios han abordado edificios residenciales, comerciales y de oficinas, y más recientemente instalaciones educativas, que no se han extendido al edificio antiguo, teniendo en cuenta sus requisitos especiales

Los sistemas basados en la física, también llamados "*white box*", "matemáticos" o "hacia adelante", proporcionan una buena capacidad de generalización, pero no son precisos, ya que requieren identificar un número significativo de parámetros para funcionar. Normalmente son ecuaciones diferenciales que se pueden transformar en otras representaciones de espacio de estado de dominio de tiempo, sobre cada componente de un sistema HVAC.

Un segundo enfoque para el modelado es enmascarar la complejidad matemática, utilizando modelos basados e datos, también llamados "*black box*". En este caso, es necesaria la validación de los modelos comprobando sus prestaciones.

Finalmente, los modelos de "*grey box*" ofrecen una mejor capacidad de generalización que los modelos basados en datos. Además, son capaces de capturar cualquier efecto no modelado que quede fuera de la ecuación.

Específicamente, esta investigación requiere ver el caso especial de la arquitectura multi-HVAC. Existen algunas propuestas recientes para administrar sistemas de enfriadores múltiples, como la modificación de la carga térmica variable en edificios comerciales [7], la optimización de la distribución de la carga de enfriamiento de un sistema de enfriadores múltiples que utiliza la distribución de densidad de probabilidad.

**3.3 Sobre la optimización de los sistemas HVAC basados en múltiples objetivos**.
En general, el problema de optimización del rendimiento de HVAC identifica las mejores configuraciones y horarios para ahorrar energía, maximizar la comodidad y reducir los costos operativos [3]. El confort térmico se considera tanto una restricción como un objetivo para maximizar, dependiendo del autor, siendo el segundo mejor adaptado a nuestra propuesta. También se han incluido la humedad interior y el índice subjetivo de calidad del aire interior (IAQ), los costos de modernización, el consumo de iluminación, las cargas de los enchufes o el nivel de confort visual  Finalmente, algunos trabajos incluyen la maximización del coeficiente de rendimiento (COP) para calefacción, o el Índice de Eficiencia Energética (EER) para refrigeración].

**3.4 Trabajos sobre la autogestión de sistemas HVAC.**
La mayor parte de la literatura está dedicada a mejorar el control de los sistemas HVAC, aplicando técnicas de optimización, utilizando modelos para una predicción más precisa [2], jerarquizando los diferentes elementos para obtener una imagen completa del sistema o automatizando las operaciones

Sin embargo, el propósito de esta investigación es el desarrollo de un sistema de gestión autónomo. En la literatura, no existe un sistema de gestión autónomo para los sistemas HVAC. Algunos de los

sistemas similares que se encuentran en la literatura son el Sistema de gestión de edificios (BMS), también denominado Sistemas de gestión de energía de edificios (BEMS) [5] cuando se trata específicamente de energía, o el Sistema de control de edificios (BCS) o Sistema de automatización de edificios (BAS). ) Cuando se automatiza el control. Pueden ser específicos para la energía o para propósitos generales, pudiendo monitorear y controlar, además de HVAC, iluminación, energía eléctrica, seguridad y observación, acceso, detector de incendios, elevadores, tuberías o televisión de circuito cerrado (CCTV). Estos sistemas se centran en la supervisión en tiempo real y el control de comandos.
También es necesario señalar investigaciones recientes sobre la mejora de la eficiencia energética mediante el análisis de datos para descubrir patrones ocultos en sistemas HVAC supervisados por técnicas no supervisadas. Finalmente, la jerarquización y automatización de las operaciones asociadas con el control de los sistemas de HVAC en edificios lleva a desarrollar una mejor gestión con importantes ventajas en la reducción de costos de mantenimiento.

## 4. Arquitectura autónoma.

### 4.1 El modelo general

El objetivo del ciclo autónomo de las tareas de análisis de datos es determinar el funcionamiento óptimo del sistema multi-HVAC. Nuestro modelo está compuesto por un módulo de optimización, que es responsable de la determinación del modo operativo óptimo para el sistema multi-HVAC, y otro que es responsable de la adaptación del sistema multi-HVAC de acuerdo con la decisión del primer componente ( ver Figura 2). El primer componente explora las diferentes combinaciones de los subsistemas HVAC y selecciona la mejor para la situación actual. El segundo componente adapta el sistema multi-HAVC utilizando las unidades de control y BMS. En general, nuestra arquitectura autónoma utiliza diferentes técnicas de aprendizaje automático para resolver este problema.

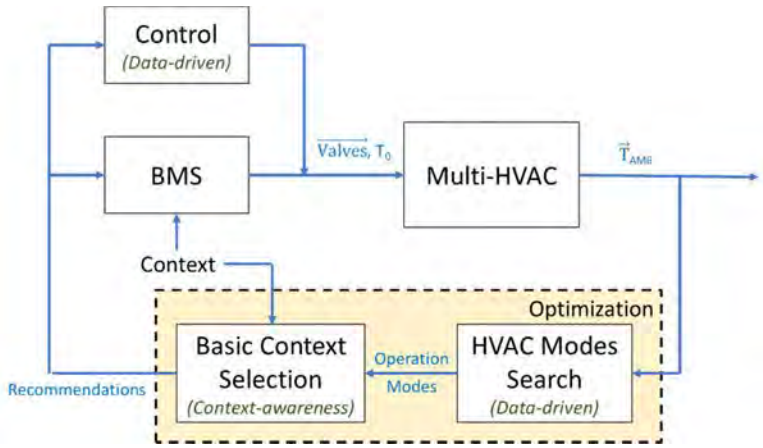



*Figura 2. Gestión autonóma multi-HVAC.*

### 4.2. Determinación del modo operacional Multi-HVAC.

4.2.1 Exploración de los posibles modos operativos Multi-HVAC

Este módulo determina los mejores modos operativos Multi-HVAC basados en un conjunto de costos objetivos, con el objetivo de optimizar el consumo de energía y el confort ambiental. De esta manera, el problema se define como un problema de optimización multiobjetivo para optimizar todos los costos. Esta sección define los costos objetivos y, adicionalmente, en la segunda parte extiende esta definición con la utilización de modelos de conocimiento basados en técnicas de aprendizaje automático para explotar los datos del contexto. Además, estos modelos de conocimiento se utilizarán en trabajos futuros en ciclos autónomos para la supervisión de sistemas Multi-HVAC, en tareas de detección y diagnóstico.

**A. Definición del problema de optimización multiobjetivo**

En general, un edificio puede tener diferentes subsistemas HVAC (por ejemplo, sistemas HVAC basados en bombas de calor o enfriadores, entre otros), y la mejor combinación de subsistemas HVAC debe seleccionarse para una situación determinada. En un contexto donde hay diferentes subsistemas de HVAC, el modelo de optimización tiene el objetivo de definir el modo multi-HVAC adecuado en un contexto dado, con el objetivo general de ahorrar energía con un alto confort en el ambiente interior. Es un problema de optimización, porque el sistema de HVAC que se implementará en una situación dada puede ser la combinación de varios subsistemas de HVAC (por ejemplo, una bomba de calor o una bomba de calor con un enfriador, entre otros), con el fin de: Produce el efecto deseado. También es un problema multiobjetivo (ahorro de energía y alto confort), con conflicto entre ellos. Por este motivo, se propone la utilización de un enfoque basado en la búsqueda de soluciones no dominadas (Pareto óptimo)

La principal variable de decisión es el modo HVAC que define el sistema multi-HVAC óptimo que se utilizará en una situación dada t. De esta manera, el problema de optimización de objetivos múltiples se puede formular como ("la formulación completa se muestra en el paper completo):

$$\text{Min}_{\text{HVACmode, t}} (P_{\text{Consumed}}(\text{HVAC}_{\text{mode}}, t), \text{Cost}_{P}(\text{HVAC}_{\text{mode}}, t), COP_{global}(\text{HVAC}_{\text{mode}}, t), \text{Comfort}(\text{HVAC}_{\text{mode}}, t)) \quad (3)$$

*Where, the cost functions to be optimized are*:

- $P_{\text{consumed}}(\text{HVAC}_{\text{mode}}, t)$ is the total power consumed by the current mode of the HVAC system, define as [7]:

$$P_{\text{consumed}}(\text{HVAC}_{\text{mode}}, t) = \sum_{j \in HVAC_{mode}} (P_{\text{chiller}}(j,t) + P_{\text{CT}}(j) + P_{\text{cwp}}(j) + P_{\text{wpp}}(j)) \quad (4)$$

*Where,* $P_{chiller}(j,t)$ *is the power consumption ……*

$$P_{\text{chiller}}(\text{j},\text{t}) = CC(j,t)/COP_{maker}(j)$$

$$\text{CC(j, t)} = \begin{cases} Q_{fluid}(j,t) * Heat_{fluid}(\text{j}) * \rho_{fluid}(\text{j}) * \Delta T_{HVAC}(j,t) & \text{if} < \text{CAP(j)} \\ CAP(j) & \text{otherwise} \end{cases}$$

- $E_{cost}(HVAC_{mode}, t)$ *is the cost of the energy, and it is defined by*:

$$Cost_P(\mathrm{HVAC_{mode}}, \mathrm{t}) = P_{consumed}(\mathrm{HVAC_{mode}}, \mathrm{t}) * TE_i \; for \; t \in i \qquad (5)$$

*Where, $TE_i$ is the power cost for the tariff period i that would apply at that moment t for the consumed power. In this expression, the period i to be used can be optimized.*

- *Comfort ($HVAC_{mode}$, t) is the comfort in the different zones in the building* .....comfort:

$$P_{demanded}(t) = Heat_{air} * \rho_{air} * \sum_{z=1}^{Z} (Q_{air}(\mathrm{z}, \mathrm{t}) * \Delta T_{comfort}(z, t)) \qquad (6.a)$$

*Where Z is the number of zones in the building.*

*Also, Comfort ($HVAC_{mode}$, t) can be redefined considering that the multi HVAC system has a maximal power ($P_{max}(HVAC_{mode}) = \sum_{j \in HVAC_{mode}} CAP(j)$) and can provide a maximal temperature ($T_{max}(HVAC_{mode})$), according to the specifications of the makers. Based on this idea, it can be determined $\Delta T_{off}(HVAC_{mode})$ as the difference between a global temperature set point and the maximal temperature that can be provided by the current $HVAC_{mode}$. This global set point has been called by some authors like social set point, and has different ways to be determined (see [38] for more details). Now, can be determined the thermic power demanded to the current $HVAC_{mode}$ ($P_{thermic}(HVAC_{mode}, t)$) for the thermal comfort as*:

$$P_{thermic}(\mathrm{HVAC_{mode}}, t) = (\Delta T_{comfort}(\mathrm{HVAC_{mode}}, t) * \sum_{j \in HVAC_{mode}} \mathrm{CAP}(j))/\Delta T_{\mathrm{off}}(\mathrm{HVAC_{mode}}) \qquad (6.b)$$

*Where $(\Delta T_{comfort}(HVAC_{mode}, t)$ is the global temperature desired……..*

- *$COP_{global}$ ($HVAC_{mode}$, t) is the current coefficient of performance of the multi-HVAC system for the $HVAC_{mode}$, defined based on the ratio between the heat to be supplied/removed by the multi HVAC system ($P_{demanded}(t)$ or $P_{therm}\ (HVAC_{mode}, t)$) and the current work of the multi HVAC system ($P_{consumed}\ (HVAC_{mode}, t)$)*:

$$COP_{global}(\mathrm{HVAC_{mode}}, \mathrm{t}) = P_{demanded}(\mathrm{t})/P_{\mathrm{consumed}}\ (\mathrm{HVAC_{mode}}, t) \qquad (7.a)$$

or

$$COP_{global}(\mathrm{HVAC_{mode}}, \mathrm{t}) = P_{thermic}(\mathrm{HVAC_{mode}}, t)/P_{\mathrm{consumed}}\ (\mathrm{HVAC_{mode}}, t) \qquad (7.b)$$

*With this set of costs, it is obtained the Pareto front (set of optimal solutions) for each possible $HVAC_{mode}$, using a multi-objective optimization technique, where the mode can be a heat pump, a heat pump with a chiller, etc. It is an optimization problem based on multiple Pareto Fronts, one for each operational mode."*

**B. Enfoques basados en datos en la definición del problema de optimización.**

Las funciones objetivas anteriores están definidas por modelos matemáticos específicos, que no consideran la situación actual. En el paper completo se amplían estas definiciones utilizando

modelos controlados por datos que capturan la situación actual, en función de los datos actuales del sistema multi-HVAC.,

### 4.2.2 Selección del modo operativo Multi-HVAC a desplegar

La fase anterior propone un conjunto de soluciones (individuos) para cada modo operativo, definido como frentes de Pareto, determinado por la técnica de optimización de objetivos múltiples utilizada. Ahora, el problema de optimización debe considerar los múltiples frentes de Pareto, para seleccionar el modo de operación óptimo. Un individuo en un frente de Pareto representa una solución óptima para un modo operacional dado, donde algunas de las funciones objetivas están más o menos optimizadas (individuo no dominado). Por ejemplo, hay soluciones que intentan minimizar el COP (modo HVAC, t) pero el resto de funciones objetivas no están optimizadas, y así sucesivamente.
Hay varias soluciones posibles para este problema, una de ellas es determinar el frente de Pareto óptimo como la intersección de los diferentes frentes de Pareto de los diversos modos operativos. En este caso, se consideran juntos los frentes de Pareto de los diferentes modelos de HVACmod, para construir un Frente de Pareto con ellos. Este caso se resuelve utilizando una técnica clásica de optimización multi-objetivo. El otro es analizar el comportamiento de cada Frente de Pareto de cada modo HVAC, y de acuerdo con la situación actual, luego seleccionar uno de ellos. Esta sección explora estas alternativas, que se explican en el paper completo

*Determinación de un Frente General de Pareto.*
En la ecuación (3), el problema de objetivos múltiples se define como un solo Frente de Pareto, que analiza los diferentes modos de HVAC que se pueden usar en el actual sistema de múltiples HVAC, donde cada modo de HVAC representa el conjunto de sistemas de HVAC utilizados en un determinado Evaluación de las ecs. (4), (5), (6.a) o (6b), y (7.a) o (7.b). De esta manera, la ec. (3) evalúa los diferentes modos HVAC, y cada modo HVAC representa una combinación de algunos de los modos multi-HVAC factibles en el sistema HVAC actual. Por lo tanto, esta ecuación es general y utiliza un frente general de Pareto para analizar los diferentes modos de HVAC.

*Análisis de cada frente de Pareto***.**
En este documento, proponemos un sistema de decisión inteligente basado en la información de la fase anterior y otra información, a fin de seleccionar la combinación de subsistemas HVAC para implementar en un momento dado. La estructura general de nuestro sistema de decisión inteligente es:"

If *decision_condition* then *individual_i*

Donde *decision_condition* es un conjunto de ponderaciones que definen la importancia de cada función objetivo, e individual_i es la solución seleccionada desde el Frente de Pareto propuesta por la técnica de optimización de objetivos múltiples (en nuestro caso, la combinación de sistemas HVAC a implementar). Cada peso se define en tiempo real de acuerdo con la relevancia de cada función objetivo en el contexto actual, y se pueden definir como variables difusas de la siguiente manera:

- *$W_1(P)$ defines the importance of the minimization of $P_{consumed}$, and it is a fuzzy variable that depends on the current values of $\Delta T^{f}_{HVAC}(j,t)'s$, for the 'j'th chilled that are in the current $HVAC_{mode}$. With this information, it is defined $W_1(P)$:*

*If* $\Delta T^{f}_{HVAC}(1,t)$ *and …* $\Delta T^{f}_{HVAC}(j,t)$ *then* $W_1(P)$ $\quad \forall j \in HVAC_{mode}$

*Where* $\Delta T^{f}_{HVAC}(j,t)$ *is a fuzzy variable with the values ……* $W_1(P)$ *can be high, average or low.*

- $W_2(E_{Cost})$ *defines the importance of the minimization of* $E_{cost}$*, and it is a fuzzy variable that depends on the current values of* $TE^{f}_{i}$ *and* $\Delta T^{f}_{HVAC}(j,t)'s$*. With this information, it is defined* $W_2(E_{Cos})$*:*

*If* $TE^{f}_{i}$ *and (*$\Delta T^{f}_{HVAC}(1,t)$ *and …* $\Delta T^{f}_{HVAC}(j,t)$*) then* $W_2(E_{Cost})$

*Where* $W_2(E_{Cost})$ *can be high, average or low, and the values of* $TE^{f}_{i}$ *can be coming in, in, and coming out.*

- $W_3(COP)$ *defines the importance of the maximization of COP, and it is a fuzzy variable .....current values of* $P^{f}_{demanded}(t)$ *or* $P^{f}_{thermic}(HVAC_{mode},t)$*, and* $\Delta T^{f}_{HVAC}(j,t)'s$*. With this information, it is defined* $W_3(COP)$*:*

*If (*$P^{f}_{demanded}(t)$ *or* $P^{f}_{therm}\ (HVAC_{mode},t)$*)) and (*$\Delta T^{f}_{HVAC}(1,t)$ *and …* $\Delta T^{f}_{HVAC}(j,t)$*) then* $W_3(COP)$

Where $P^{f}_{demanded}(t)$ or $P^{f}_{the}\ (\mathrm{HVAC_{mode}},t))$ are a fuzzy variable with the values high, average or low; and $W_3$(COP) can be high, average or low.

- $W_4(Comfort)$ *defines the importance of the maximization of Comfort, and it is a fuzzy variable that depends on the current restrictions of* $\overrightarrow{\Delta T}^{f}_{comfort}(zones,t)$*, which ....., it is defined* $W_4(Comfort)$*:*

If $\overrightarrow{\Delta T}^{f}_{comfort}(zones,t)$ then $W_4$(Comfort)

Where $\overrightarrow{\Delta T}^{f}_{comfo}\ (zones,t)$ is a set of fuzzy variables with the values very strict, strict, normal, and not strict; and $W_4$(Comfort) can be high, average or low. Also, $W_4$(Comfort) can be calculated considering $\Delta T_{comfort}(\mathrm{HVAC_{mode}},t)$ like a fuzzy variable that define the global temperature desired in the building at the current time t (social temperature set point) [38].

### *4.3. Adaptación del sistema Multi-HVAC al modo operativo seleccionado.*

Este módulo es responsable de la adaptación del sistema multi-HVAC al modo operativo determinado en el módulo anterior. Para eso, se requiere un conjunto de señales de control en el sistema multi-HVAC. En general, la mayoría de los sistemas HVAC utilizan controladores muy simples de activación / desactivación o proporcional-integral (PID). Además, se han propuesto muchos enfoques para controlar los sistemas de edificios para la eficiencia energética de los sistemas HVAC, como el control adaptativo no lineal y el control predictivo del modelo (MPC). En particular, un método popular utilizado para modelar la dinámica térmica basada en MPC es el modelo de resistencia-capacitancia (RC) reducida. En este caso, el modelo RC de primer orden, que modela la dinámica de HVAC, se formula como*:*

$$C_i T_{\iota,t} = \frac{T_{o,t} - T_{\iota,t}}{R_\iota} + \sum\nolimits_{J \in N(\iota)}^{\cdot} \frac{T_{J,t} - T_{\iota,t}}{R_{\iota J}} + P_{\iota,t} \qquad (10)$$

*Where N(i) is ….ver paper completo*

En este trabajo, vamos a considerar un enfoque basado en datos, para construir un controlador inteligente basado en técnicas de aprendizaje automático, que pueda tener en cuenta automáticamente las variaciones en los parámetros climáticos, entre otras cosas. En particular, vamos a proponer un método de control basado en datos para reemplazar el controlador MPC tradicional, mediante el uso de datos del sistema multi-HVAC para construir el modelo que representa su dinámica. Se está desarrollando y se presentará en trabajos futuros.

## 5.- Caso de estudio

### 5.1 Un sistema HVAC centralizado en un edificio no tradicional

#### 5.1.1 Descripción del contexto

En este estudio de caso, el edificio analizado es el Teatro Real de Madrid, que se encuentra en el centro de Madrid, España. Tiene una superficie total de 65,000m2 (700,000ft2). El teatro tiene capacidad para 1,746 butacas. El área de 1,430m2 (15.400ft2) incluye la tecnología más avanzada para administrar los recursos de la escena y ha sido sede de la obra más famosa de la ópera. Cuenta con 11 salones para eventos, 4 salas de ensayo, 7 estudios, oficinas, almacenes y áreas técnicas para reparación. El clima de Madrid es predominantemente seco con inviernos fríos, con un promedio diario de 0 ° C TS (39 ° F) en enero, y los veranos calurosos alcanzan más de 35 ° C TS (95 ° F), 21,4 ° C TH.

El edificio está abierto todo el año, excepto agosto, por lo que requiere calefacción y refrigeración. El sistema multi-HVAC tiene dos bombas de calor agua-aire (195 kW e (para calentar o enfriar, y también, dos enfriadores de agua / agua (700 kW) para enfriar. El sistema multi-HVAC es supervisado y operado a través de a Sistema de gestión de edificios (BMS). El BMS lee las temperaturas de las diferentes áreas del edificio y escribe las instrucciones en los actuadores para regular el flujo de agua o aire y la temperatura. En general, el BMS permite la supervisión de Hasta 1.824 variables digitales y analógicas.

La operación es compleja y requiere simplificación para los operadores de campo. Reciben la hoja de instrucciones y el cronograma de los modos de operación que se requerirán para el día siguiente. Cada modo de operación es una combinación de órdenes de inicio / parada para los actuadores, ya programados en el BMS. El ingeniero de HVAC prepara la hoja de instrucciones de acuerdo con el pronóstico del tiempo y el calendario de eventos.

La Figura 4 muestra el escenario de trabajo existente en el que el operador de campo establece los modos de operación, de acuerdo con la hoja de instrucciones calculadas utilizando el pronóstico del tiempo y el calendario de eventos. En general, el BMS se programa de acuerdo con un horario, para garantizar la máxima satisfacción del público que asiste a los eventos.

En este documento, proponemos un sistema de decisión inteligente basado en la información de la fase anterior y otra información, a fin de seleccionar la combinación de subsistemas HVAC para implementar en un momento dado. La estructura general de nuestro sistema de decisión inteligente es:

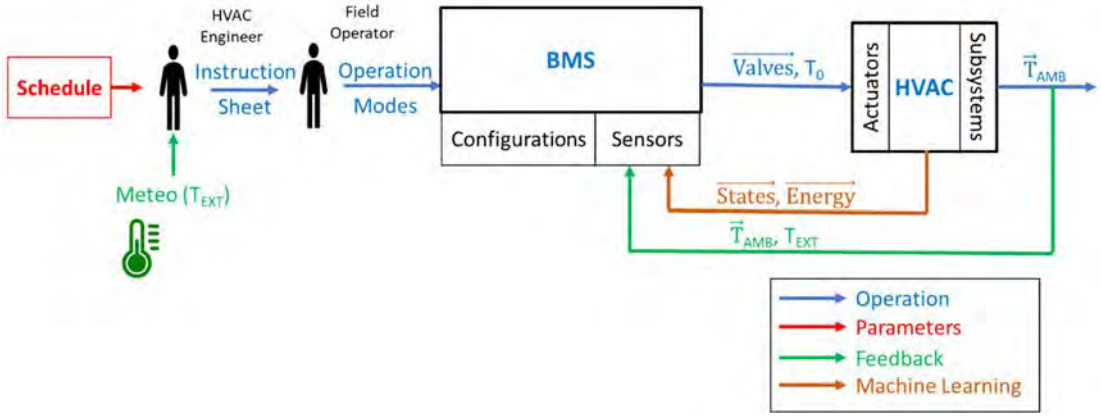



Figure 4. Current operation of the Multi-HAVC system

El BMS mantiene una base de datos histórica con 169 variables sobre temperatura exterior, temperatura ambiente, V alimentación del transformador, energía consumida por el equipo, el coeficiente de rendimiento (COP) de los subsistemas de HVAC, entre otros, muestreados cada 15 minutos. Además, el BMS almacena una segunda tabla con 45 temperaturas adicionales de las diferentes zonas del edificio, muestreadas cada hora. Una última tabla recopila variables adicionales leídas durante las obras y ensayos de 69 sensores cada 10 minutos.

*5.1.2 Utilización de nuestro ciclo autónomo*

La figura 5 muestra la creación de instancias de nuestro ciclo autónomo en el edificio de Opera. Específicamente, en este caso, se pueden implementar los diferentes componentes del módulo de optimización, pero el módulo de control es el BMS actual en el edificio. La selección del modo operacional Multi-HVAC a desplegar es muy importante, y las diferentes estrategias y ecuaciones definidas en la sección 4.2 se pueden usar para eso. Además, los enfoques basados en datos pueden usar los datos históricos almacenados por BMS. A continuación se describen en detalle los componentes.

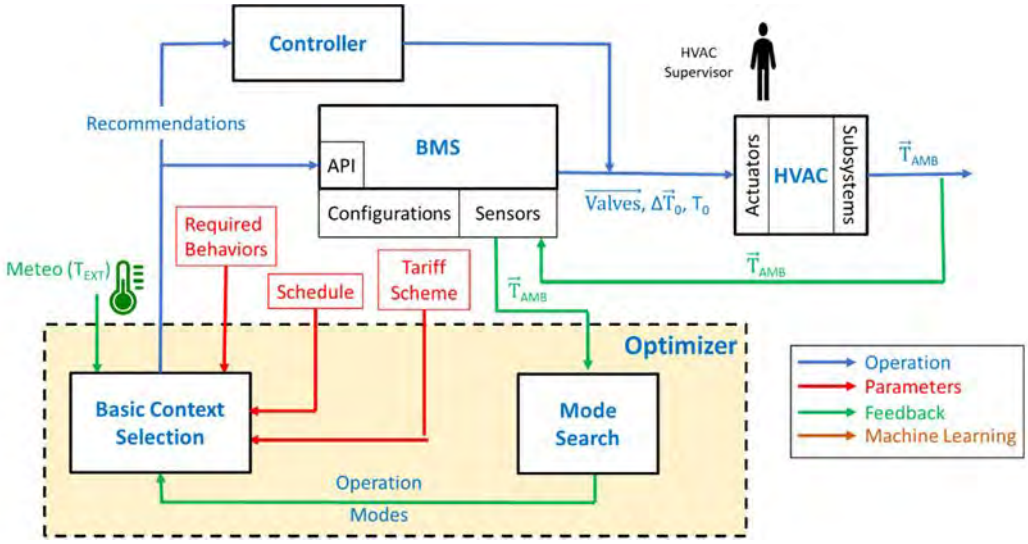



Figure 5. Installation of our Autonomic Cycle in the Opera Building

*A. Exploración de los posibles modos operativos Multi-HVAC*

El primer objetivo es definir los diferentes subsistemas de HVAC en el edificio del Teatro Real y, de acuerdo con ellos, los diferentes modos operativos. De esta manera, se requiere la definición de las siguientes variables de cada subsistema HVAC: sub-system: $Heat_{fluid}(j)$, $\rho_{fluid}(j)$, $P_{max}(j)$, $T_{max}(j)$ and $CAP(j)$.. Los valores de las últimas variables están dados por los marcadores. Además, se requiere conocer los valores de $TE_i$ , para calcular el costo de energía. Específicamente, en este caso hay dos bombas de calor similares y dos enfriadores de agua y agua similares.

| | RATE PERIODS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MONTHS | HOURS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| JANUARY | P6 | | | | | | | | P2 | | P1 | | | P2 | | | | | P1 | | | P2 | | |
| FEBRUARY | P6 | | | | | | | | P2 | | P1 | | | P2 | | | | | P1 | | | P2 | | |
| MARCH | P6 | | | | | | | | P4 | | | | | | | | P3 | | | | | | P4 | |
| APRIL | P6 | | | | | | | | P5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| MAY | P6 | | | | | | | | P5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| JUNE (1-15) | P6 | | | | | | | | P4 | | | P3 | | | | | | P4 | | | | | | |
| JUNE (15-30) | P6 | | | | | | | | P2 | | | | P1 | | | | | | P2 | | | | | |
| JULY | P6 | | | | | | | | P2 | | | | P1 | | | | | | P2 | | | | | |
| AUGUST | P6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SEPTEMBER | P6 | | | | | | | | P4 | | | P3 | | | | | | P4 | | | | | | |
| OCTOBER | P6 | | | | | | | | P5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOVEMBER | P6 | | | | | | | | P4 | | | | | | | | P3 | | | | | | P4 | |
| DECEMBER | P6 | | | | | | | | P2 | | P1 | | | P2 | | | | | P1 | | | P2 | | |

Por otro lado, debido a que BMS almacena datos históricos, se pueden construir modelos controlados por datos para la predicción o identificación del comportamiento de los diferentes componentes del sistema Multi-HVAC de Opera. Para eso, requiere la extracción de las variables del sistema Multi-HVAC del Teatro Real, para ser utilizado por nuestro ciclo autónomo. Además,

estos modelos se pueden usar para determinar la degradación de las instalaciones en otro ciclo autónomo, que sería responsable de la supervisión del sistema multi-HVAC (que se desarrollará en los próximos trabajos).

*B. Selección del modo operativo Multi-HVAC a desplegar*
En este estudio de caso, es necesario seleccionar el modo operativo para cada situación específica. Para ello, se utiliza el pronóstico del tiempo y el calendario de eventos, en el sistema de decisión inteligente difuso propuesto en la sección 4.2.
La programación de la tabla almacena la información sobre los diferentes eventos (fecha / hora, duración) y los puntos de ajuste de temperatura requeridos. Con el pronóstico del tiempo y la información en la tabla de programación se definen las variables difusas que establecen la importancia de cada costo objetivo (peso):

- $W_1(P)$ is defined according to the current values of the variable $P_{\text{consumed}}$ in the Opera building, and $\Delta T^f_{HVAC}(\text{j},\text{t})'s$.
- $W_2(E_{Cost})$ is defined according to the current values of $TE_i$ and $\Delta T^f_{HVAC}(\text{j},\text{t})'s$.
- $W_3(COP)$ is defined according to the current values of $P^f_{demanded}(t)$ or $P^f_{therm}$ $(HVAC_{\text{mode}}, t)$, and $\Delta T^f_{HVAC}(\text{j},\text{t})'s$.
- $W_4(Comfort)$ is defined according to the importance of the current restrictions $(\overrightarrow{\Delta T}^f_{comfort}(zones, t))$.

Por lo tanto, este sistema es consciente del contexto, cambia convenientemente los pesos en función de la información específica sobre el contexto (eventos, horas de trabajo, etc.), para considerar las diferentes situaciones en el sistema. De esta manera, el sistema de decisión inteligente difuso puede seleccionar de forma autónoma el modo óptimo de HVAC múltiple que se utilizará en la situación actual. En este caso, el sistema selecciona a un individuo no dominado, según el escenario real, y cambia el comportamiento del sistema según este.
*B. Adaptación del sistema Multi-HVAC al modo operativo seleccionado*
Finalmente, la salida del *fuzzy intelligent decision system* (sistema de decisión inteligente difuso) alimenta directamente el BMS en el momento adecuado, con las instrucciones necesarias para configurar el modo óptimo de multi-HVAC. De esta manera se cierra el bucle autónomo, con las instrucciones de control que se implementarán en el sistema multi-HVAC. En particular, el sistema de decisión inteligente difuso debe traducir el modo óptimo multi-HVAC en un conjunto de valores de las variables que deben seguir el BMS en el sistema multi-HVAC, para adaptarlo al contexto actual.
Por lo tanto, este componente cierra el ciclo con el sistema de control actual del edificio Teatro Real (su BMS) que cambia el sistema multi-HVAC, para seguir el modelo operacional ideal en el contexto actual, determinado por el módulo de optimización.

## 6.- Discussion and Comparison with previous works (se expone en paper complete)

## 7.-Conclusiones

Este documento ha propuesto una arquitectura de administración autónoma para sistemas multi-HVAC para edificios, basada en el concepto de Ciclo Autónomo de Tareas de Análisis de Datos. En particular, esta arquitectura autónoma determina el modo de operación óptimo de los sistemas multi-HVAC en tiempo real, es decir, el conjunto de subsistemas HVAC que se utilizarán en un contexto dado.
Especialmente, el ciclo autónomo permite la auto-optimización de un sistema multi-HVAC. Para eso, este problema se define como un problema de optimización multi-objetivo para cada modo

operacional factible (posibles combinaciones de subsistemas HVAC), para mejorar la energía y la comodidad del contexto. Desde este punto de vista, este problema define otro problema interesante, la selección del mejor individuo de los conjuntos del Frente de Pareto (se construye un Frente de Pareto para cada modo operacional posible). En este trabajo se proponen dos alternativas para resolver este problema, la utilización de un sistema de decisión difuso para seleccionar al mejor individuo de los diferentes frentes de Pareto, que considera la situación actual en el contexto, o la utilización de un Frente de Pareto global, desde el Fusión de los diferentes conjuntos de Frentes de Pareto.

El ciclo autónomo de las tareas de análisis de datos utiliza / desarrolla diferentes modelos de conocimiento, por ejemplo, modelos predictivos, modelos de identificación o modelos de optimización. Estos modelos de conocimiento basados en datos también se pueden utilizar en otros contextos, por ejemplo, en tareas de supervisión para determinar las condiciones de degradación en los componentes de los sistemas multi-HVAC. Nuestra arquitectura autónoma se puede ampliar para incluir más ciclos autónomos con otros objetivos, por ejemplo, para supervisar las funcionalidades del sistema multi-HVAC, con el fin de autorrepararlo.

Los siguientes trabajos se refieren al desarrollo de los modelos de conocimiento basados en datos (modelos predictivos y de identificación), otros trabajos se centrarán en la implementación de estrategias de optimización del sistema multi-HVAC, en particular, el sistema de decisión difusa para seleccionar al mejor individuo de un Conjunto de frentes de Pareto. Además, se considerarán otros estudios de caso, para probar su escalabilidad y versatilidad. También, es necesario evaluar su utilización en el contexto de un sistema multi-HVAC distribuido, donde tal vez se podrían usar algunas ideas sobre los sistemas multiagente para modelar el problema en el contexto de un edificio inteligente, donde la autonomía y la inteligencia son Distribuido en el conjunto de sistemas HVAC [33]. Finalmente, esta investigación dejará para un estudio futuro la inclusión de la humedad interior y el índice subjetivo de la calidad del aire interior (IAQ), los costos de adaptación, el consumo de iluminación o el confort visual.

## Referencias


[1] Mauro, G. M., Hamdy, M., Vanoli, G. P., Bianco, N., & Hensen, J. L. (2015). A new methodology for investigating the cost-optimality of energy retrofitting a building category. *Energy and Buildings*, 107, 456-478.

[2] Serale, G., Fiorentini, M., Capozzoli, A., Bernardini, D., & Bemporad, A. (2018). Model predictive control (MPC) for enhancing building and HVAC system energy efficiency: Problem formulation, applications and opportunities. *Energies*, 11(3), 631.

[3] Shaikh, P. H., Nor, N. B. M., Nallagownden, P., Elamvazuthi, I., & Ibrahim, T. (2014). A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 409-429.

[5] Rocha, P., Siddiqui, A., & Stadler, M. (2015). Improving energy efficiency via smart building energy management systems: A comparison with policy measures. *Energy and Buildings*, 88, 203-213.

[8] Reynolds, J., Rezgui, Y., Kwan, A., & Piriou, S. (2018). A zone-level, building energy optimisation combining an artificial neural network, a genetic algorithm, and model predictive control. *Energy*, *151*, 729-739.

[9] Wang, F., Yoshida, H., & Ono, E. (2009). Methodology for optimizing the operation of heating/cooling plants with multi-heat-source equipments. *Energy and Buildings*, 41(4), 416-425.

[34] Aguilar J., Sanchez M, Cordero J., Valdiviezo P., Barba L., Chamba L. (2018) Learning Analytics Tasks as Services in Smart Classroom, *Universal Access in the Information Society Journal*, 17(4) 693–709.

[35] Vizcarrondo J., Aguilar J., Exposito E., Subias *A.* (2017) MAPE-K as a Service-oriented Architecture, *Revista IEEE Latinoamerica Transactions*, 15 (6) 1163-1175.

[36] Aguilar J., Cordero J., Buendia O. (2018) Specification of the Autonomic Cycles of Learning Analytic Tasks for a Smart Classroom, *Journal of Educational Computing Research,* 56 (6) 866-891.

[37] Roth, K., Llana P. Detlef W. Brodrick J. (2005) Automated whole building diagnostics. *ASHRAE Journal*, 47 (5).

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

:30 - 14:30

**SIÓN 2 Track A. CLIMATE CHANGE: WHAT**
**N WE DO TO MITIGATE IT**
odera: Adriana Thumann

limate Change Project – Introduction to
mate Change" **Álvaro Rodríguez.** Director
**E CLIMATE REALITY PROJECT**

business narrative: fighting against chan-
is mandatory feasible, cheap and plenty
opportunities" **Carlos Salle Alonso.** Direc-
de Políticas Energéticas y Cambio Cli-
ático. **IBERDROLA**

"Water - The Molecular Planetary Flyw
in Action" **Dr. Adam Wexler.** Chief Scie
Officer. **Joi Scientific**

"Taking back the streets: Cities, Trans
tation, and Climate Change" **Jairo Ga**
Professor **Georgia Tech. School of City**
**Regional Planning**

"Solution - Circular Economy how it w
and how to implement" **Álvaro Rodríg**
Director **THE CLIMATE REALITY PROJE**

II Congreso Internacional de Ingeniería Energéti

Madrid, 26 de junio de 20

CLIMATE CHANGE: WHAT CAN WE DO TO MIGRATE

# "A business narrative: fighting against climate change i mandatory, feasible, cheap and plenty of opportunities

**Carlos Sal**

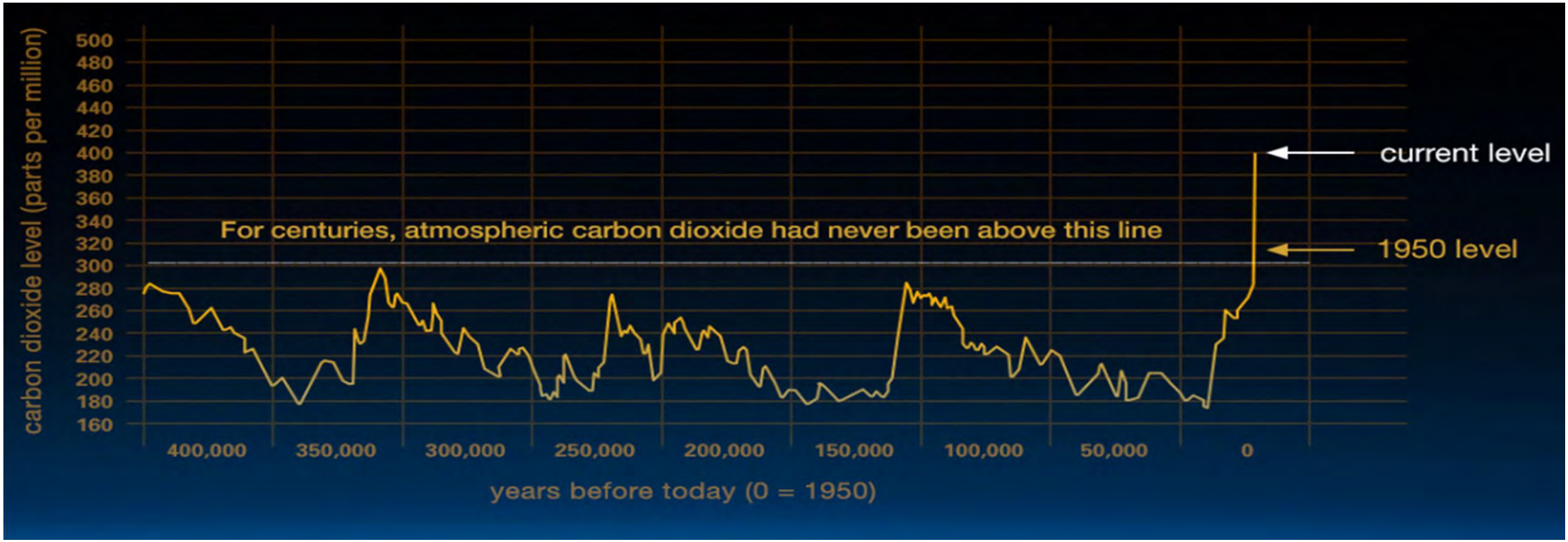
Director de Políticas Energéticas y Cambio Climáti

@carlos_salle_

A ALERTA
E EVIDENCIA
i INICIATIVAS
O OPORTUNIDADES
U UNIDOS

# Alerta: Confiamos en los científicos que nos dicen que tenemos un problema..

## El cambio climático es global, se está produciendo a una velocidad sin precedentes y con efectos a largo plazo

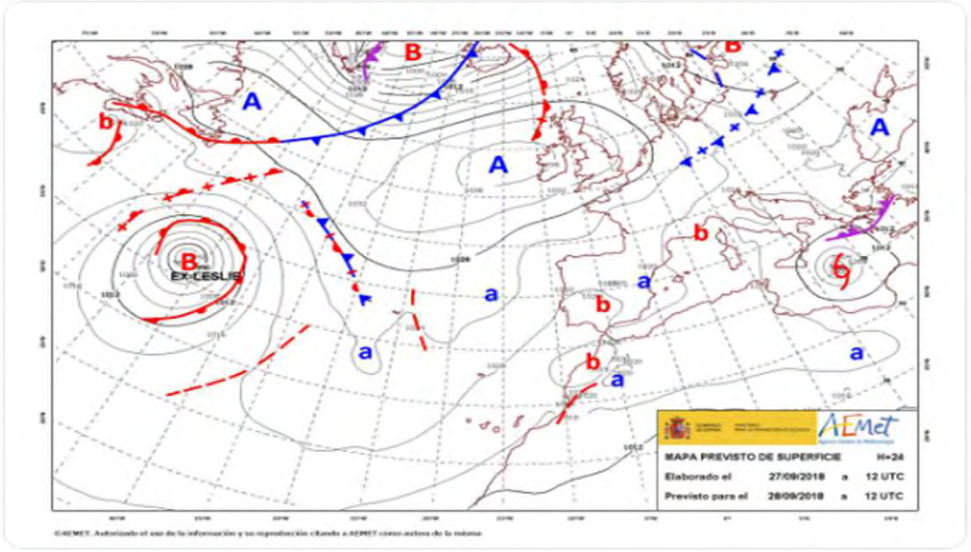



Fuente: NASA https://climate.nasa.gov/evidence/

**La concentración de $CO_2$ está aumentando más rápido de lo que lo había hecho en cientos de miles de** años superando en un 40% el nivel registrado al comienzo de la industrialización

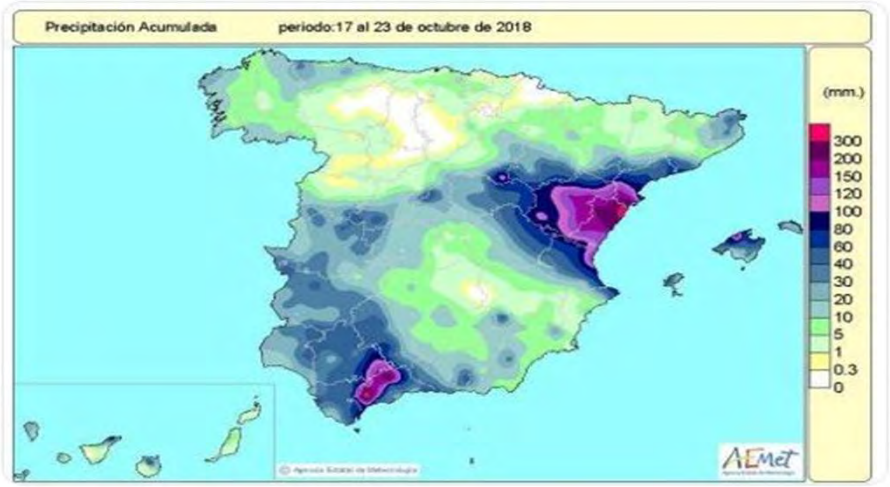
# Alerta: Ejemplos cercanos de efectos colaterales

## Huracanes en el Mediterraneo




22:36 - 27 sept. 2018

## Lluvias torrenciales




8:56 - 26 oct. 2018

## Tormentas extremas

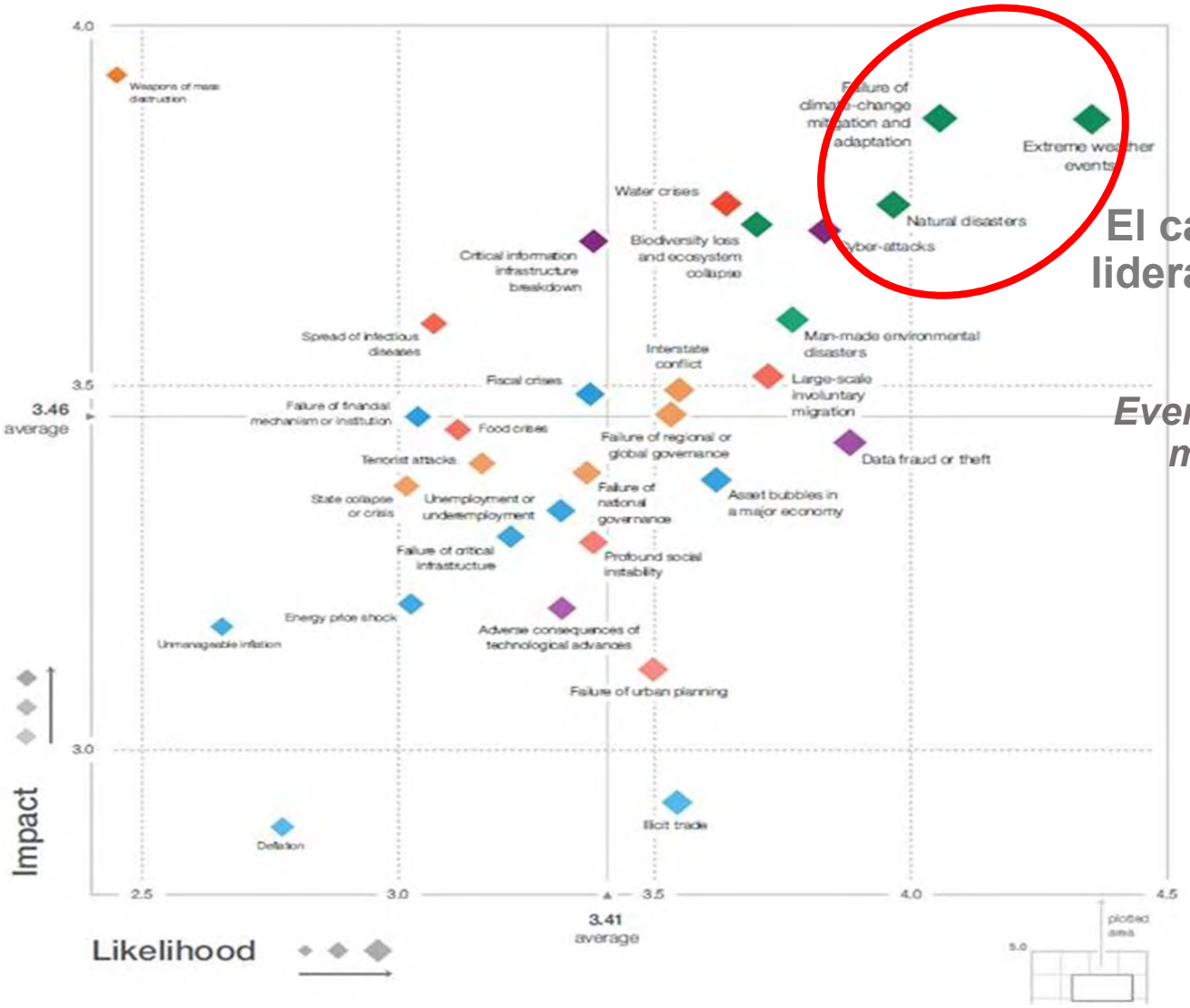
LA VANGUARDIA

**Olas de varios pisos de altura en Tenerife rompen balcones y cristales de edificios frente al mar**

# Alerta…más eventos extremos (menos cercanos)…

# Alerta. Efectos económico-financieros: Ranking de rie

: The Global Risks Landscape 2019




**El cambio climático y sus efectos colaterales lideran los *rankings* de riesgos en términos d probabilidad e impacto**

***Eventos extremos, desastres naturales y fallos en mitigación y adaptación al cambio climático***

WORLD ECONOMIC FORUM

Global Risks Report

# Alerta. Las distintas narrativas….

…la negacionista, la largoplacista, la extremista…
… la narrativa que *maximice* la acción colectiva…

**Es un problema generado por el hombre, que nos está afectando AHORA y AQU**
**cuyos costes YA están siendo pagados por los ciudadanos aunque no lo sepan y**
**luchar contra él es menos costoso que no hacerlo, es una fuente de oportunidad**
**generándose empleo sostenible, creciendo desde la economía verde, y apoyando**
**los colectivos vulnerables a los que perjudica el cambio climático y/o la transicio**

**Esta es la que nos gusta en Iberdrola**

# Evidencia: Contaminación del aire: Otro problema-hermano al cambio climático

## Contaminación ambiente

**4,2 millones**

**muertes** cada año como resultado de la exposición a **aire contaminado**

**91%**

de la población mundial vive en lugares donde **la calidad del aire está por debajo de los limites fijados por la OMS**

*Fuente: OMS*

## Contaminación del aire doméstico

**3,8 millones**

**muertes** cada año como resultado de la **exposición doméstica** a combustibles sucios para cocina y calefacción

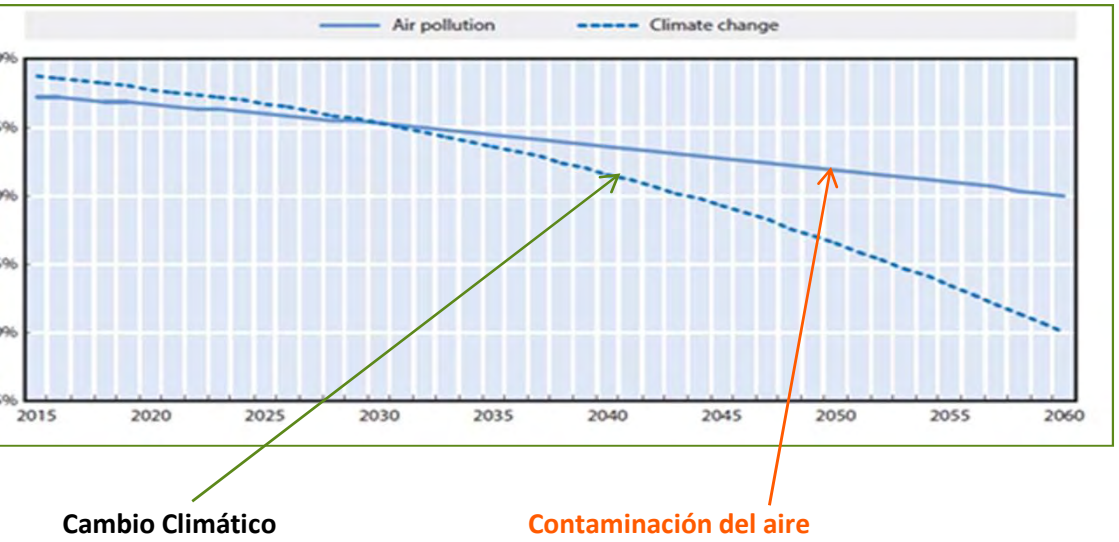
- Los **mayores niveles de contaminación** del aire se encuentran en el **región mediterránea oriental** y **el sudeste asiático**
- En general, **los niveles de contaminación del aire son menores en los países ricos**, en especial Europa, América y el Pacífico occidental
- En las ciudades de los países ricos de **Europa**, la **contaminación del aire** se ha visto como un **reductor de la esperanza de vida media** entre 2 y 24 meses, dependiendo de los niveles de contaminación.

**La lucha contra el cambio climático soluciona también la contaminación local**

# Evidencia. No se está aplicando el principio de quien contamina paga
# La tecnología está lista, pero las políticas no deben quedarse atrás.

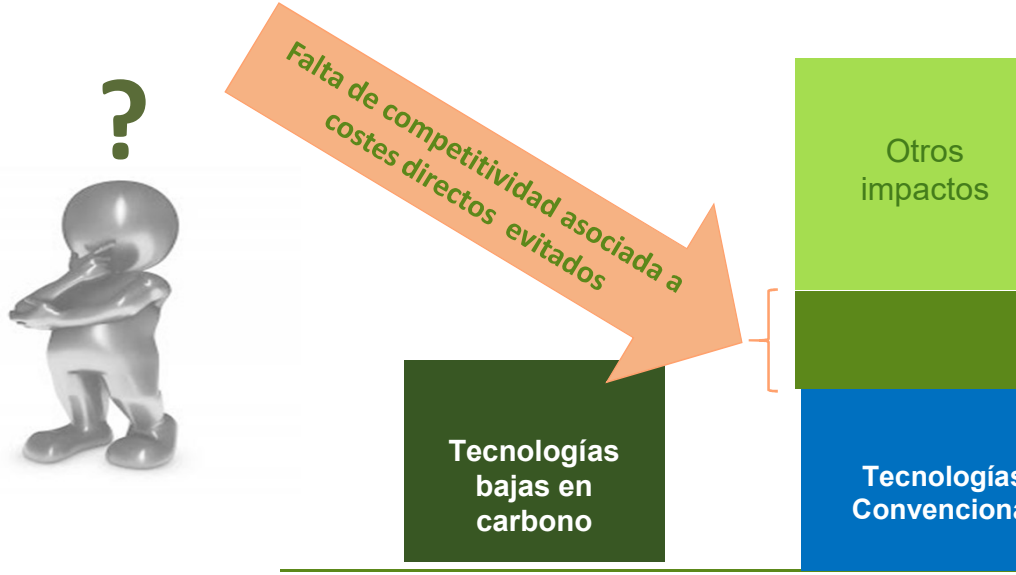
s fundamental tener en cuenta el **Valor Actual Neto de los impactos futuros** (VAN) de los costes vitados relacionados con el **cambio climático** y la **contaminación del aire, así como los efectos ositivos** generados por una **economía descarbonizada**

**Impacto en PIB (%)**




*uente:* World Bank Group - IHME, "The cost of air pollution: strengthening the economic case for action"

ota: La gráfica representa los cambios en el PIB debido a los costes directos de mercado debidos al cambio imático y la contaminación del aire: Gastos sanitarios, pérdidas de productividad laboral y menor productividad grícola




**iudadanos ya están pagando los costes causados por la aminación local y el cambio climático (Presupuestos de Sanidad, de Fomento, de agricultura…)**

**El coste de la descarbonización es mucho menor el de la NO descarbonización**

## niciativas variadas. Políticas de objetivos de Net-zero carbon a nivel país (también a nive
## estatal, local, empresarial…)

| | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
|---|---|---|---|---|---|
| California | | | | ★ | |
| Chile | | | | | ★ |
| Costa Rica | | | | | ★ |
| Dinamarca | | | | | ★ |
| UE | | | | | ★ |
| Fiji | | | | | ★ |
| Finlandia | | ★ | | | |
| Francia | | | | | ★ |
| Alemania | | | | | ★ |
| Islandia | | | ★ | | |
| Islas Marshall | | | | | ★ |
| Nueva Zelanda | | | | | ★ |
| Noruega | ★ | | | | |
| Portugal | | | | | ★ |
| Suecia | | | | ★ | |
| Reino Unido | | | | | ★ |
| Uruguay | ★ | | | | |

# Iniciativas tecnológicas. Buenas noticias!
# La tecnología está, y es cada vez más competitiva

## …que continúa (récords de subastas de energía limpia desde 2011)

### Solar PV

| | | |
|---|---|---|
| 2011 | US$ **17,0** c/kWh | España |
| 2015 | US$ **5,84** c/kWh | EAU |
| 2016 | US$ **2,99** c/kWh | EAU |
| 2017 | US$ **2,69** c/kWh | México |
| 2018 | US$ **1,97** c/kWh | México |

***- 88%***

### Eólica Onshore

| | | |
|---|---|---|
| 2011 | US$ **8,00** c/kWh | EE.UU. |
| 2015 | US$ **6,00** c/kWh | Australia |
| 2016 | US$ **4,50** c/kWh | EE.UU. |
| 2017 | US$ **3,00** c/kWh | Marruecos |
| 2018 | US$ **1,77** c/kWh | México |

***- 78%***

### Eólica Offshore

| | | |
|---|---|---|
| 2011 | US$ **17,0** c/kWh | U.K. |
| 2015 | US$ **12,3** c/kWh | Dinamarca |
| 2016 | US$ **5,30** c/kWh | Dinamarca |
| 2017 | US$ **4,90** c/kWh | Alemania |
| 2018 | US$ **4,90** c/kWh | Alemania |

***- 71%***

ente: Presentación de Michael Liebreich en el encuentro con empleados de Iberdrola (14/3/2018)

## iciativas tecnológicas. Buenas noticias! La tecnología está, y es cada vez más competiti

he Guardian

12 de Junio 2019

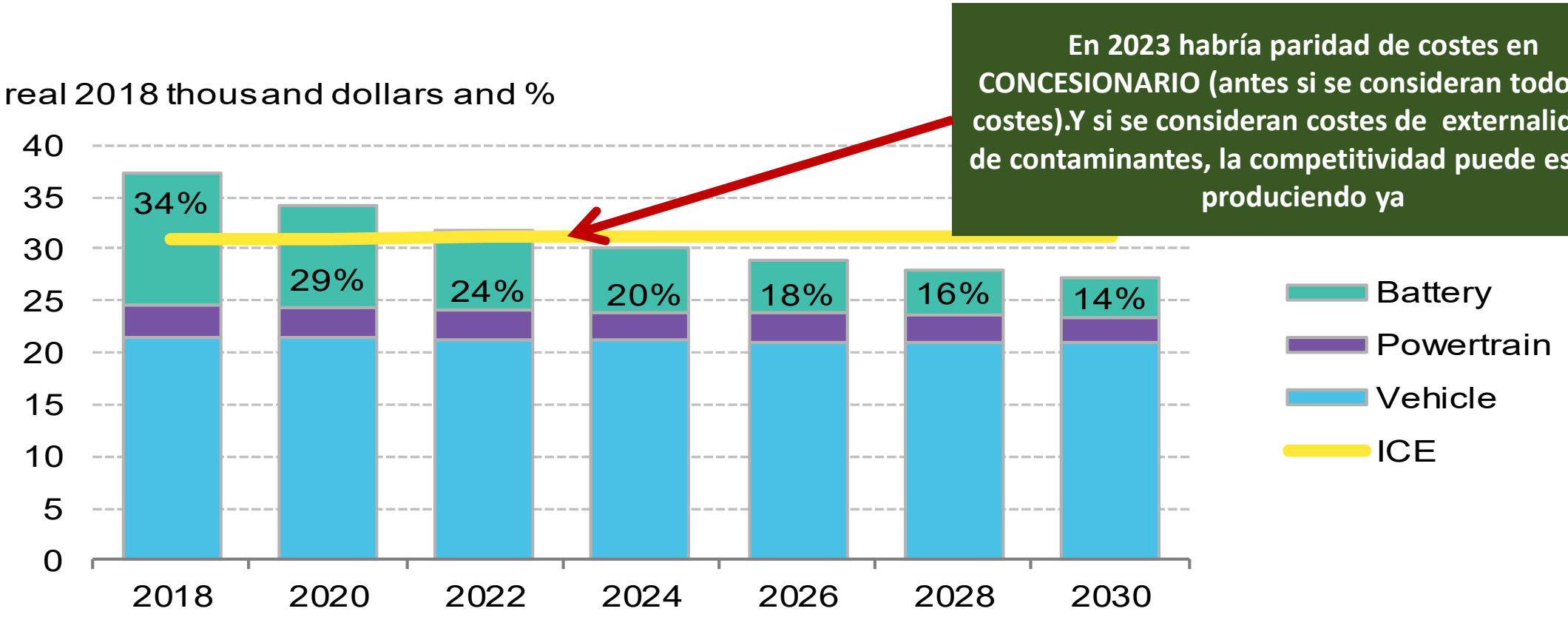
ottish Power to build vast battery to
prove wind energy supply

gy firm says project will be big step towards continuous
wable power for UK

Steel giant ArcelorMittal targets carbon neutral European operations by 205( BusinessGreen

## iciativas tecnológicas. Buenas noticias! La tecnología está, y es cada vez más competit

### Comparativa de costes entre vehículos eléctricos y vehículos de combustión interna, 2018-2030 (vehículo de tamaño medio, Unión Europea)




*Fuente: BloombergNEF*

# Esto va muy rápido…Última hora de algunos de los diferentes tipos de accio

IEA (@IEA)

/19 14:46

8 was another record-breaking year for electric cars, with 1.98m sold around the world - raising the total global stock to 5.12m bit.ly/2KeX6pX

UARDIA | Economía 11/05/2019

onnaert: "En tres años, el coche co costará como el convencional"

eneral de la ACEA, Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles

BRIEF 18 Junio 19

**Largest EV charging companies in US join forces to expand customer access to stations**

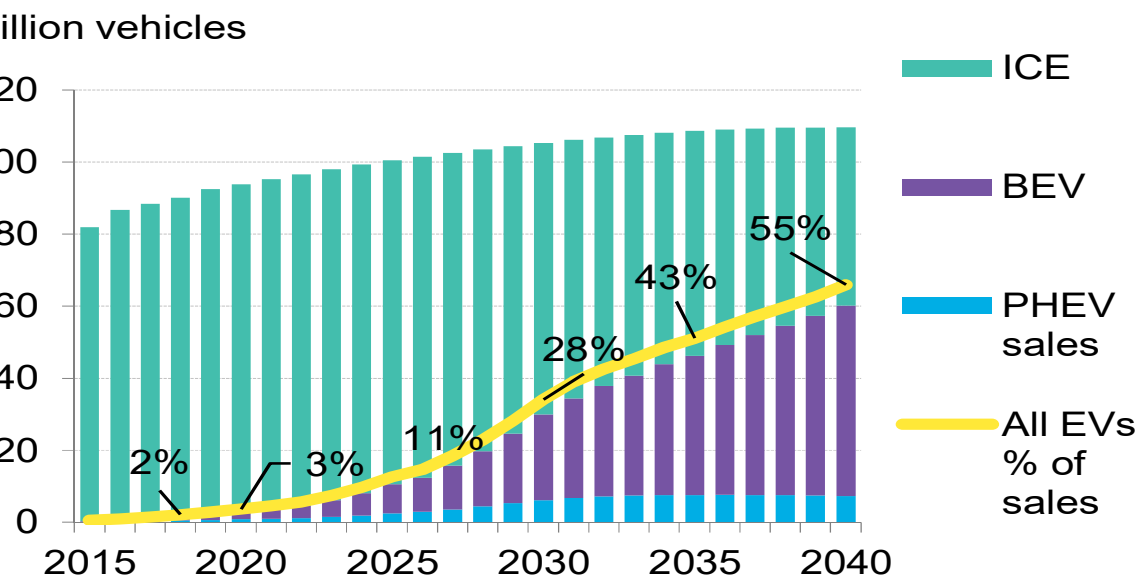
## 12 myths of e-mobility

28/5/2019

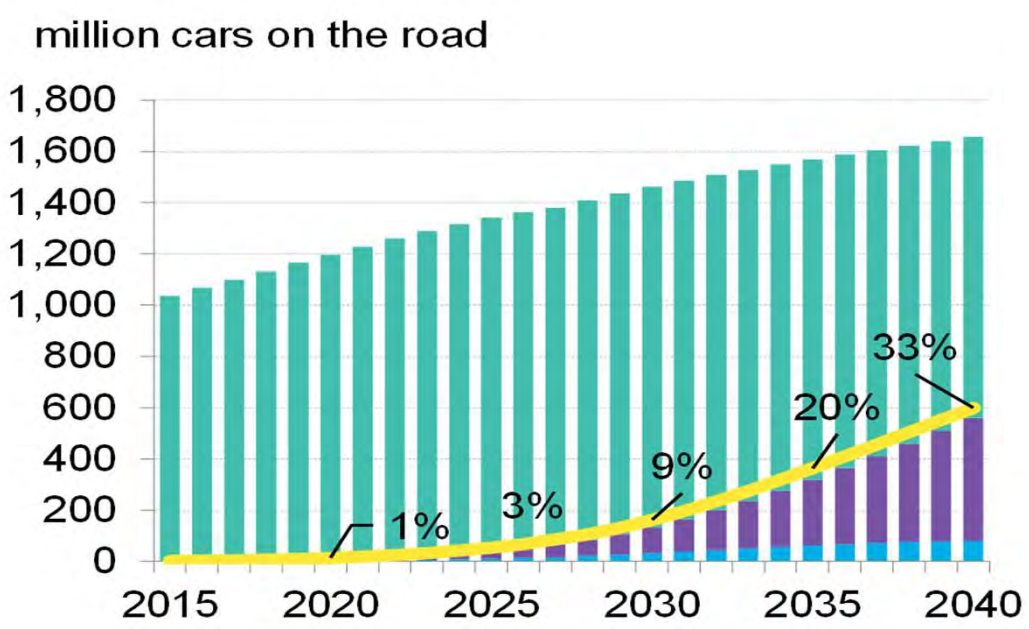
Volkswagen Group News

# Iniciativas tecnológicas. La disrupción en el transporte es imparable…

## Ventas anuales de vehículos ligeros




## Flota global de vehículos ligeros



# …ayudada por otras Iniciativas que son megatender
# anuncios de  prohibiciones crecientes para los vehículos de combus

## PAISES

## REGIONES/CIUDADES

**Restricciones de acceso vehículos diesel:**

- 2018: **Francfort, Hamburgo, Berlín**
- 2020: **Oxford**
- 2024: **París, Roma**
- 2025: **Atenas, Islas Baleares, Madrid, México**

**Restricciones de acceso vehículos térmicos:**

- **2030**: París, Estocolmo
- **2035**: Islas Baleares
- **2040**: California
- …

**Fossil-Fuel-Free Streets Decl**

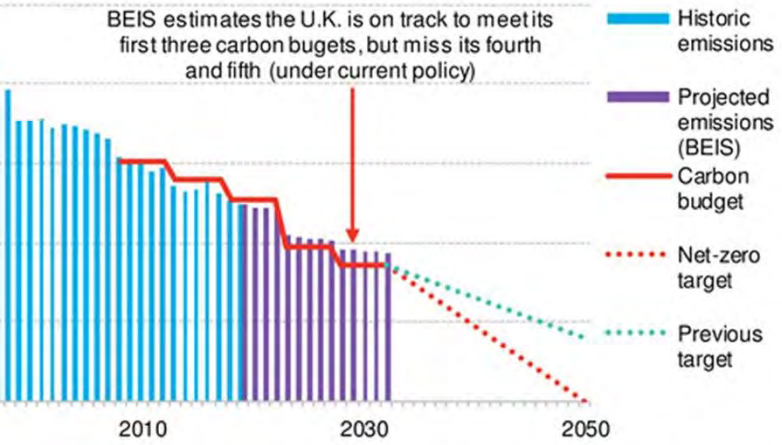
- Auckland
- Barcelona
- Ciudad del Cabo
- Copenhague
- Londres
- Los Angeles
- Ciudad de México
- Milán
- Oxford
- París
- Quito
- Seattle
- Vancouver

# iativas variadas.  Esto va muy rápido…Última hora de algunos de los rentes tipos de acciones

## U.K. commits to Net-Zero by 2050

ouse gas emissions and targets

house gas emissions (MtCO2e)




epartment for Business, Energy and Industrial Strategy Energy and emissions projections: 2018

USINESS JUNE 10, 2019 / 8:14 PM / 5 DAYS AGO

REUTERS

Jersey unveils energy plan to make 100% clean by 2050

struction uirer

ew buildings must be net ro carbon by 2030

UTILITY DIVE Deep Dive Opinion Podcasts Lib

## Maine Gov. Mills introduces 100% renewables bill

By Catherine Morehouse

Published May 2, 2019

## Climate change: Scotland to set faster target for net-zero emissions

By Kevin Keane
BBC Scotland's environment correspondent

2 May 2019 | 729 Share

**The Scottish government will legislate to reduce greenhouse gas emissions to net-zero by 2045 after receiving fresh advice from an expert panel.**

## *New York to Approve One of the World's Most Ambitious Climate Plans*

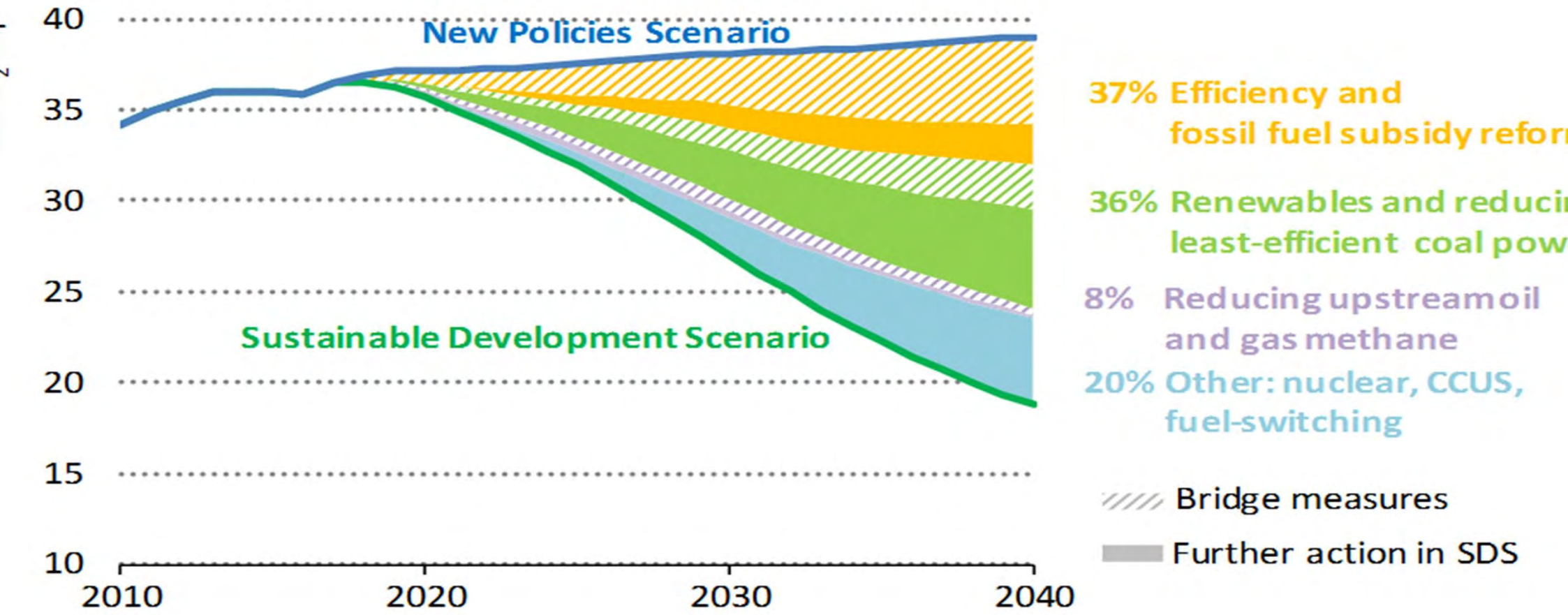
The state would pledge to eliminate net greenhouse gas emissions by 2050, with all its electricity coming from carbon-free sources.

**18 Junio 2019**

The New York Ti

## portunidades. A nivel mundial todavía queda un largo camino por recorrer, pero es posibl

**Medidas necesarias para reducir las emisiones**




**ente**: IEA World Energy Outlook 2018

# Oportunidades que surgen en la lucha contra el cambio climáti

*ln mundo mejor, más ostenible y más saludable… rece la economía… mejora la ercepción de la ociedad…mejora la captación le capital…retención del alento. demás….nuevas portunidades en…*

## Mitigación

- Códigos de edificación (ej: Aislamiento de viviendas)
- Bomba de calor
- Vehículo eléctrico, baterías…
- Digitalización
- Eficiencia, Gestión de la Demanda
- Gestión eficiente del agua y de los suelos
- Energías renovables, baterías…
- Agricultura y ganadería…

## Adaptación

- Limpia rejas en captación de agua
- Edificación:; ej. Creación de “Cubier Verdes” sobre edificios
- Restauración de Manglares
- Sistemas de alerta y predicción
- Protocolos y Capacitación
- Códigos de edificación
- Nuevos usos Agricultura y ganadería
- Refuerzo infraestructuras (redes, tre autopistas…)

# Oportunidades que surgen en la lucha contra el cambio climático

Toby Hill
sinessGreen 14 June 2019

## ENA: 11 million people now work in green energy

s avances en sostenibilidad podrían llegar a crear **18 millones de empleos** en el sector ctrico global **en 2030**

**Ejemplo 1: La transición en el sector automovilístico podría generar hasta 670.000 empleos netos en 2050 en Europa**

**Ejemplo 2: El Off-Shore permite la reinvención de los astilleros a la economía verde**

Fuente: Low-carbon cars in Europe: A socioeconomic Assessment. European Climate Foundation

# Oportunidades que surgen en la lucha contra el cambio climático Ejemplo de la eólica marina, astilleros e industria auxiliar

EL COMERCIO

**Iberdrola adjudica a la avilesina Windar un contrato en EE UU por 100 millones**

14 de Junio 2019

Estructuras del parque eólico Wikinger, en el mar Báltico, en cuya construcción participó Windar. / J. J. MEDINA

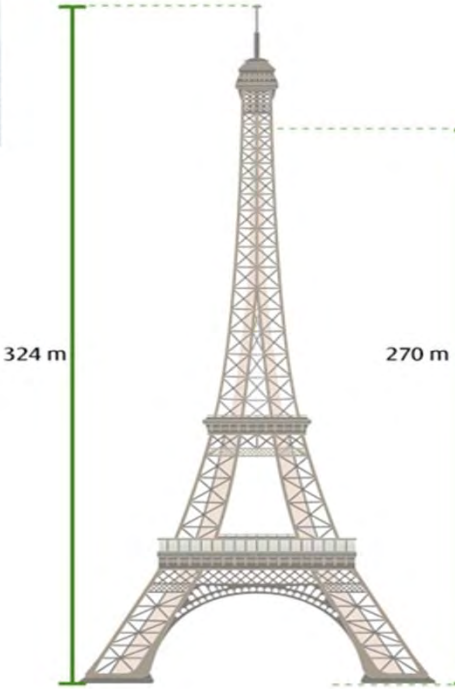
Suministrará 84 cimentaciones para el parque eólico marino de Vineyard Wind, lo que dará ocupación a 400 personas de media

Wikinger

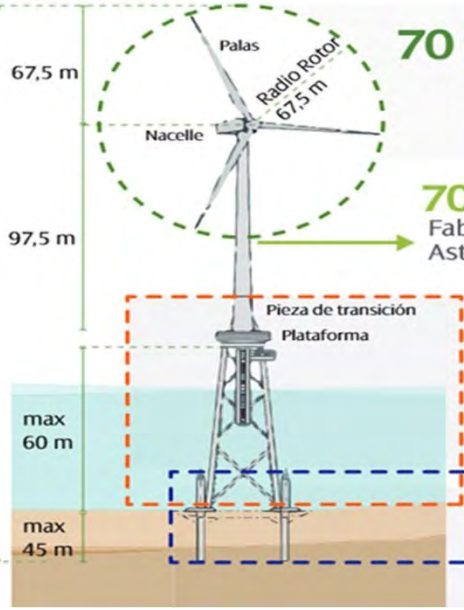
IBERDRO

Subestaci
Fabricada en An
(Cadiz - Puerto R

Navantia




**Molino eólico marino - Wikinger**
Peso total: 2.000 tn
560 tn (pilotes) + 690 tn (Jackets)+ 750 tn (turbina)




**70 turbinas** Gamesa
Fabricadas por una empresa española: Gamesa

**70 Torres**
Fabricadas en Asturias (Avilés)
WINDAR

**29** piezas transición WINDAR

**29 Jackets**
Fabricados en Galicia (Fene)
Navantia

**116 Pilotes**
Fabricados en Asturias (Avilés)
WINDAR

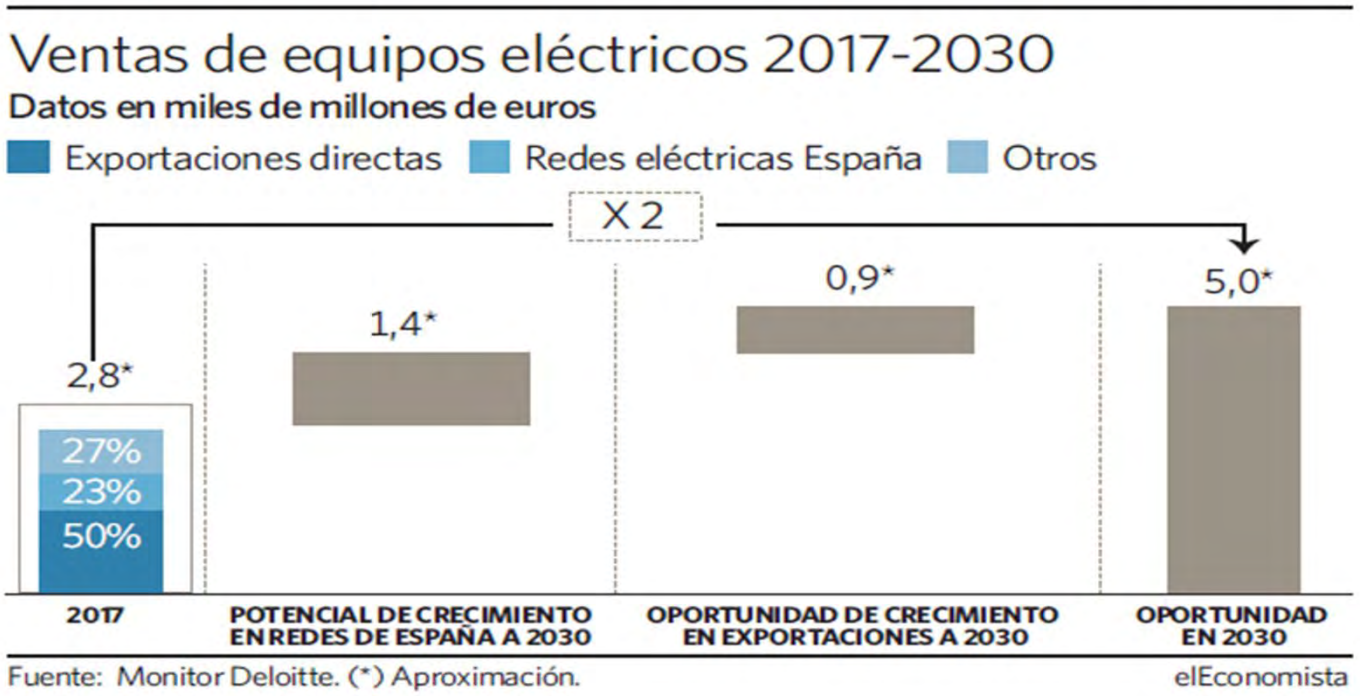
**La apuesta por un desarrollo sostenible conlleva nuevas posibilidades de negocio y reconversión para otros sector que han sufrido la crisis económica (sector naval…)**

# Oportunidades que surgen de la transición energética…

El Economista el Superlunes 03/06/19

## Los fabricantes de equipos eléctricos duplicarán el negocio hasta 2030

La transición energética les permitirá facturar más de 5.000 millones al año



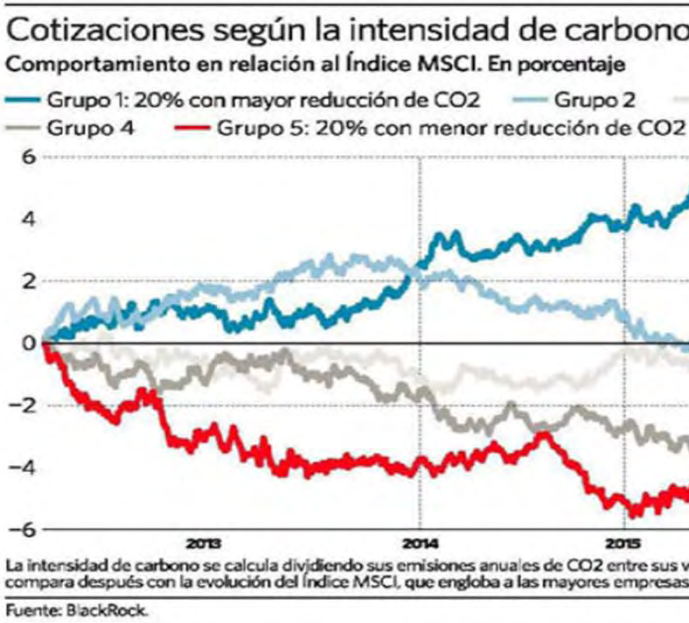
# Oponerse genera riesgos. Presión del mercado financiero. Ejemplos : los fondos

chimeneas de una industria pesada emitiendo gases a la atmósfera. ISTOCK

## ackRock recomienda abandonar la versión en activos que emiten CO2

erte de las "extremas pérdidas" que pueden provocar en el largo plazo

***"Los agentes financieros no pueden continuar ignorando el cambio climático y deben actuar ya"***




**Los gestores deben asegurarse de que sus activos valen lo que dice los libros**
**Es necesario tener una visión de largo plazo: Lo sostenible es más rentable**

**ente**: *http://www.presscuttingservice.com/noticias/20151116_EL_ECONOMISTA_P24_nico2035.pdf*
ás información disponible en http://www.businessinsider.com/blackrock-ceo-larry-fink-letter-to-sp-500-ceos-2016-2

# Oponerse genera riesgos. Presión del mercado financiero. Ejemplo: los accionistas

ABLE BUSINESS APRIL 24, 2019 / 5:05 PM / A MONTH AGO

firm Equinor agrees climate change
gets with investors

ding investors back Shell's climate targets

May 29, 2019

## Shareholders Strongly Support Climate Resolutions at Exxon and Chevron Annual Meetings

**Edward Mason** @edwardcmason · 29 may.

Going into #Exxon AGM, where I will say: "My hope is that by this time next year, Exxon will, like BP, Shell & Total, have started to map out a future consistent with the goals of the Paris Agreement. Nothing less will do." Full remarks linked in tweet below @ActOnClimate100

Dec 3, 2018

**The Church of England** @churchofengland

Head of Responsible Investment for the Church Commissioners, @EdwardCMason will deliver two proposals at the #ExxonMobil AGM today in Dallas: bit.ly/2YZZftT

Mostrar este hilo

**Climate Proposals Fail at Exxon, Chevron Shareholder Meetings**

May 29, 2019

# Oponerse genera riesgos. Presión del mercado financiero: ejemplos los fondos de pensiones

AFP
@thelocal.no
elocalnorway

9 March 2019
19 CET+01:00

THE LOCAL no

## rway sovereign wealth fund, world's ggest, to dump oil and gas

of Equinor's oil platform in Johan Sverdrup oilfield in the North Sea. File photo: Nerijus aitis/Scanpix

**ay's sovereign wealth fund, the world's biggest thanks to petrodollars, will sell akes in oil and gas exploration and production companies to reduce its exposure ck gold, the government said on Friday.**

**Minimizar estos riesgos y el mayor compromiso medioambiental está llevando a grandes fondos de inversión desinvertir y vetar a grandes empresas por presentar un elevado riesgo medioambiental**

EL PAÍS

12 de Junio de 2019

## El fondo soberano de Noruega retira 11.000 millones los combustibles fósiles y apuesta por las renovables

El mayor organismo estatal de inversiones del mundo, que se nutre de los yacimientos petrole destinará hasta 17.000 millones a parques eólicos y solares

# Oponerse genera riesgos. Presión del mercado financiero: ejemplo del Sector asegurador

THOMAS BUBERL
EXECUTIVE OFFICER OF AXA

*"A +4°C world is not insurable. As a global insurer and investor, we know that we have a key role to play. We have made some pioneering moves since 2015, notably by starting to divest from coal, setting an ambitious green investments target, and restricting our insurance business with the coal industry. We are proud to have taken these decisions and to have inspired other actors. Today, in the spirit of the Paris Agreement, we want to accelerate our commitment and confirm our leadership in the fight against global warming"*

# Oponerse genera riesgos. Presión del mercado financiero: ejemplos Agencias de rating

dit Rating Agencies Assess the
sical Risks of Climate Change

tributor on Thursday, Feb 22nd, 2018 FINANCE

CREDIT RATING AGENCY DEMANDS GOVERNMENT PREPARE FOR CLIMAT CHANGE 3 dec 2017

MOODY'S

About Moody's | Careers | Reg

nd ratings, research, analysts and more GO

search & Ratings Products & Solutions News & Events

MOODY'S
VESTORS SERVICE

Print Export PDF

nouncement: Moody's: Climate change is forecast to heighten US exposure to economic loss placing short-
long-term credit pressure on US states and local governments

bal Credit Research - 28 Nov 2017

# Unidad de acción de toda la sociedad. Movimientos sociales (jóvenes, todas las religiones, etc)

***"La humanidad se encuentra en una encrucijada crucial".***

Dichiarazione finale della Delegazione della Santa Sede alla 24ma Sessione della Conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (COP24) a Katowice (Polonia), 2-15 dicembre 2018, 19.12.2018

***"Debemos comenzar una transición que nos aleje de los combustibles fósiles contaminantes, llevándonos hacia fuentes limpias de energías renovables".***

**June 14, 2019** ABC NEWS

## Pope Francis backs carbon pricing and 'radical energy transition' to act against global warming

# Unidad de acción de toda la sociedad. El papel de las empresas

## El A-E-I-O-U del Plan de acción de Iberdrola contra el Cambio Climático

**2001-2019…**

**Nos anticipamos: evolución continua vs revolución**

**Modelo de negocio en la economía verde: bueno para ciudadanos, para el planeta…y para los accionistas.**

# A-E-I-O-U. A modo de conclusión. Mensajes Principales

**Los científicos alertan de que no se está en el camino para parar el cambio climático**

**Problemas Exponenciales necesitan……** → **… Soluciones Exponenciales**

**Es necesario cambiar la narrativa: ·#1URGENCIA, #2EXTERNALIDADES #3 OPORTUNIDAD. Ciudadanía concienciada**

**El coste de descarbonizar es menor que el de no hacerlo**

**Buenas noticias: tecnologías bajas en carbono competitivas en la electricidad y el transporte. La ingeniería es clave para atajar el problema.**

**Las políticas son clave para eliminar barreras a la descarbonización: reforma fiscal + atención a grupos vulnerables**

**La economía sostenible es una oportunidad para la economía y el empleo**

**En momentos disruptivos, quien no se adelante se quedará en el camino.**

## ¿Y si esto del cambio climático es una farsa y vamos a estar creando un mejor mundo para nada?
*(Joel Pett…de broma claro…)*

# ¡Muchas gracias

**Carlos Sal**
Director de Políticas Energéticas y Cambio Climáti

@carlos_salle_

# Esto va muy rápido…Última hora de algunas de los diferentes tipos de acciones (1)

BBC

## UK Parliament declares climate change emergency

1 May 2019 Share

## mate change: Scotland to set faster get for net-zero emissions

n Keane
otland's environment correspondent

y 2019 | 729 Share

Scottish government will legislate to reduce greenhouse gas emissions t-zero by 2045 after receiving fresh advice from an expert panel.

752 views | May 2, 2019, 11:34am

## Europe Launches Multibilli Euro Initiative For Electric Batteries

Forbes

Dave Keating Contributor
Energy

World » US | Africa | Americas | Asia | Australia | China | Europe | Middle East | India | UK International Edition +

## K should slash emissions to net zero y 2050, say climate change advisers

belle Gerretsen, CNN
lated 1105 GMT (1905 HKT) May 2, 2019

# Esto va muy rápido…Última hora de algunos de los diferentes tipos de acciones

siness leaders urge EU heads of state to signal new economic direction towards
t zero by 2050

30 2019 – On the eve of the Future of Europe Summit, CEOs from more than 50 businesses,
stors and business networks, including Unilever, IKEA and DSM, are calling on the EU to
rse a long-term decarbonisation strategy to achieve climate neutrality by 2050.

ead the letter

THE PRINCE OF WALES'S
CORPORATE LEADERS GROUP

ews | Apr 29, 2019, 05:10pm

s Angeles Targets 100%
ectric Vehicles In The City By
50

Forbes

Liane Yvkoff Contributor
Transportation
*I write about bleeding edge automotive technology.*

UTILITY DIVE Deep Dive Opinion Podcasts

**Maine Gov. Mills introduces 100% renewables bill**

By Catherine Morehouse
Published May 2, 2019

struction
uirer

ew buildings must be net
ro carbon by 2030

SUSTAINABLE BUSINESS MAY 2, 2019 / 8:44 PM / UPDATED A DAY AGO

REUTERS

City of Amsterdam to ban
polluting cars from 2030

# iENER'19

## II Congreso Ingeniería Energética

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

12:30 - 14:30

**SESIÓN 2 Track A. CLIMATE CHANGE: WHAT CAN WE DO TO MITIGATE IT**

Modera: Adriana Thumann

"Climate Change Project – Introduction to Climate Change" **Álvaro Rodríguez.** Director **THE CLIMATE REALITY PROJECT**

"A business narrative: fighting against change is mandatory feasible, cheap and plenty of opportunities" **Carlos Salle Alonso.** Director de Políticas Energéticas y Cambio Climático. **IBERDROLA**

"Water - The Molecular Planetary Flywheel in Action" **Dr. Adam Wexler.** Chief Science Officer. **Joi Scientific**

"Taking back the streets: Cities, Transportation, and Climate Change" **Jairo García.** Professor **Georgia Tech. School of City and Regional Planning**

"Solution - Circular Economy how it works and how to implement" **Álvaro Rodríguez.** Director **THE CLIMATE REALITY PROJECT**

# Taking Back the Streets: Cities, Transportation and Climate Change

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

By: Dr. Jairo Garcia

June 26, 2019

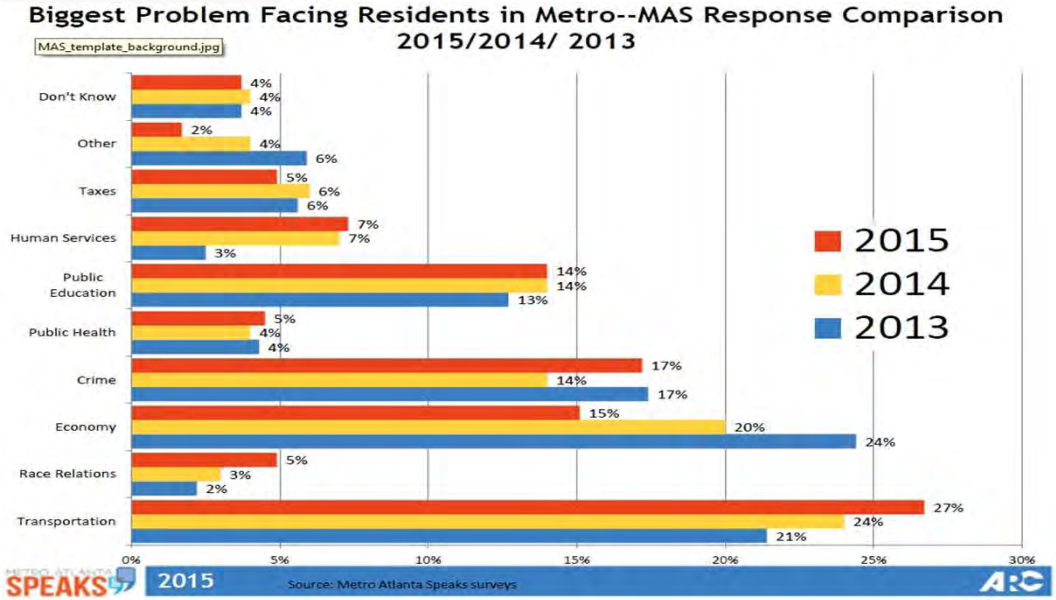
# Atlanta's Worse Nightmare: Going nowhere

Georgia Tech
CREATING THE NEXT

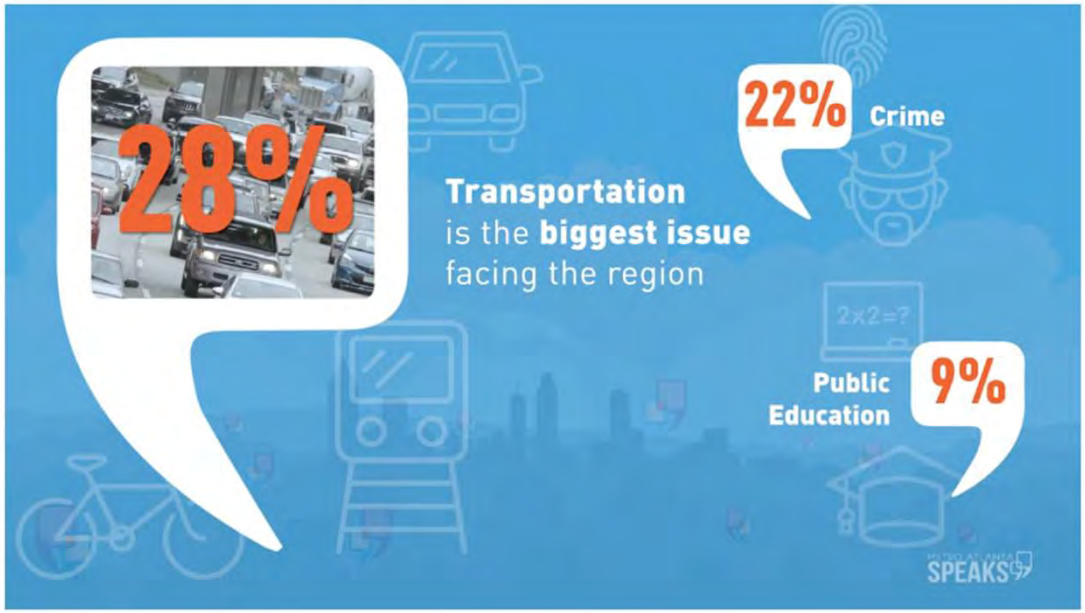
# Snowmageddon - 2014

Georgia Tech
CREATING THE NEXT

# Transportation




The 2018 Metro Atlanta Speaks survey, our sixth, reveals key trends that offer fascinating insights when it comes to the outlook of metro Atlanta.



# Transportation



## Spaghetti Junction tops list of worst freight bottlenecks

Nov 19, 2015
By Andria Brooks, Spinning our Wheels

If you thought traffic congestion caused by freight trucks was bad in metro Atlanta, you were right.

And now there's a study to prove it. The American Transportation Research Institute did an analysis of 250 "bottleneck" locations nationwide and found that Spaghetti Junction, the intersection of I-85 and I-285, is the worst in the country.

Georgia Tech
TING THE NEXT

MENU

FleetOwner

NEWS > INFRASTRUCTURE

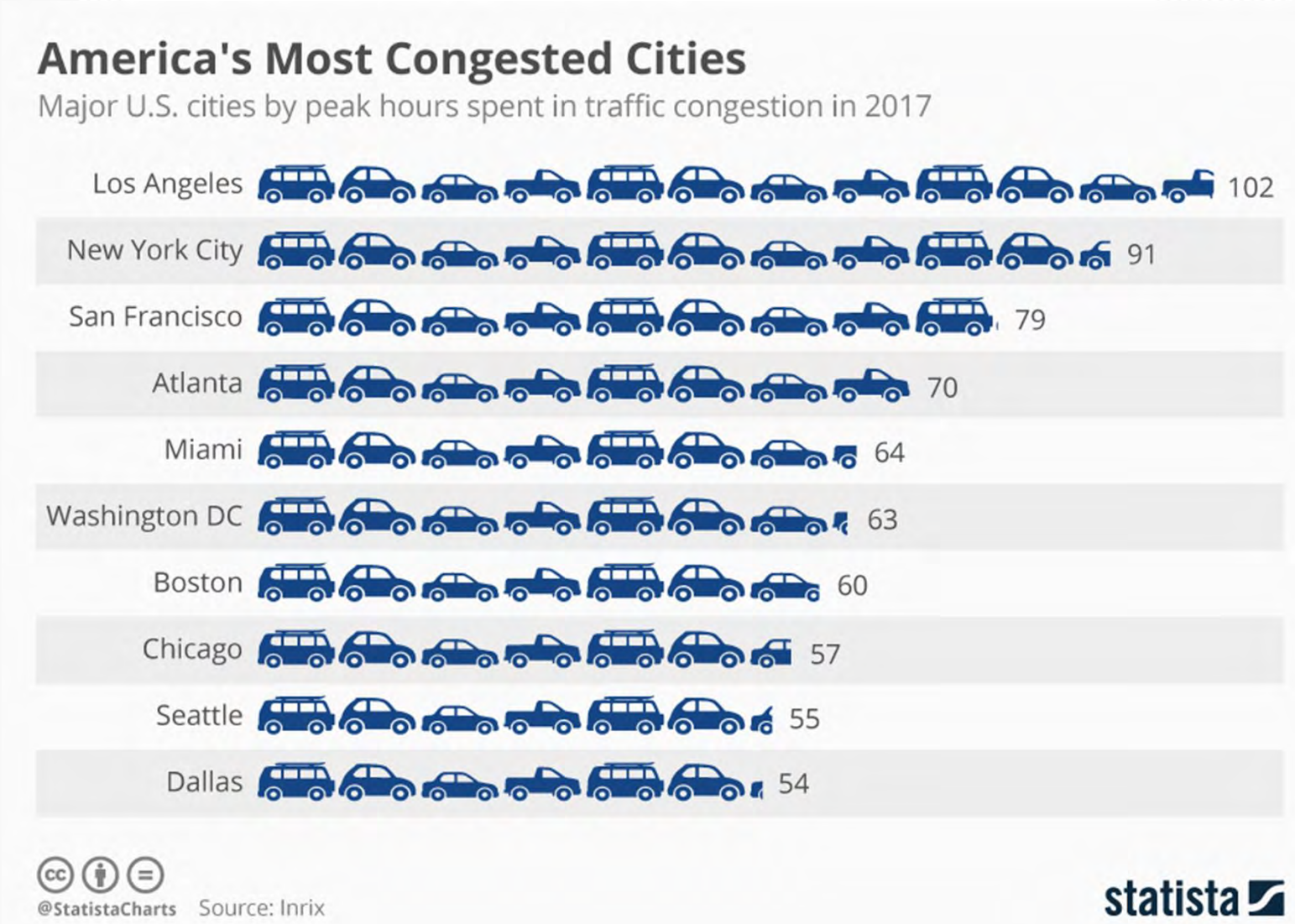
# Atlanta's 'Spaghetti Junction' is still the worst bottleneck in trucking

American Transportation Research Institute releases annual list of that ranks the 100 worst bottlenecks for trucks on U.S. highways.

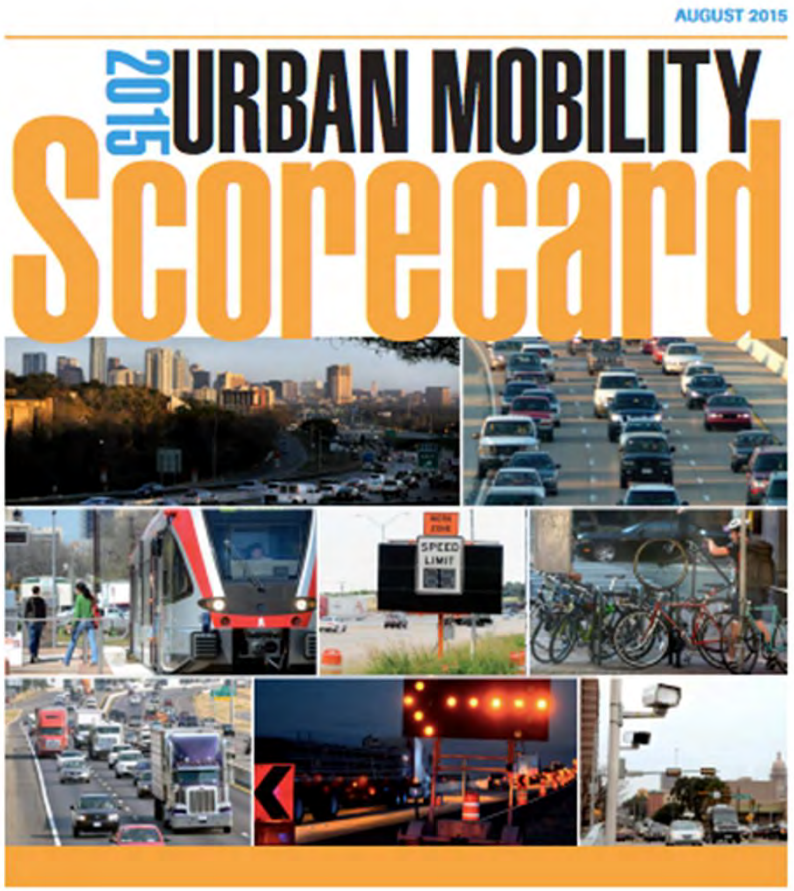
Fleet Owner Staff | Jan 25, 2018

For the third straight year, Atlanta's "Spaghetti Junction," the intersection of Interstates 285 and 85 North, is the most congested freight bottleneck in the country.

Georgia Tech
CREATING THE NEXT



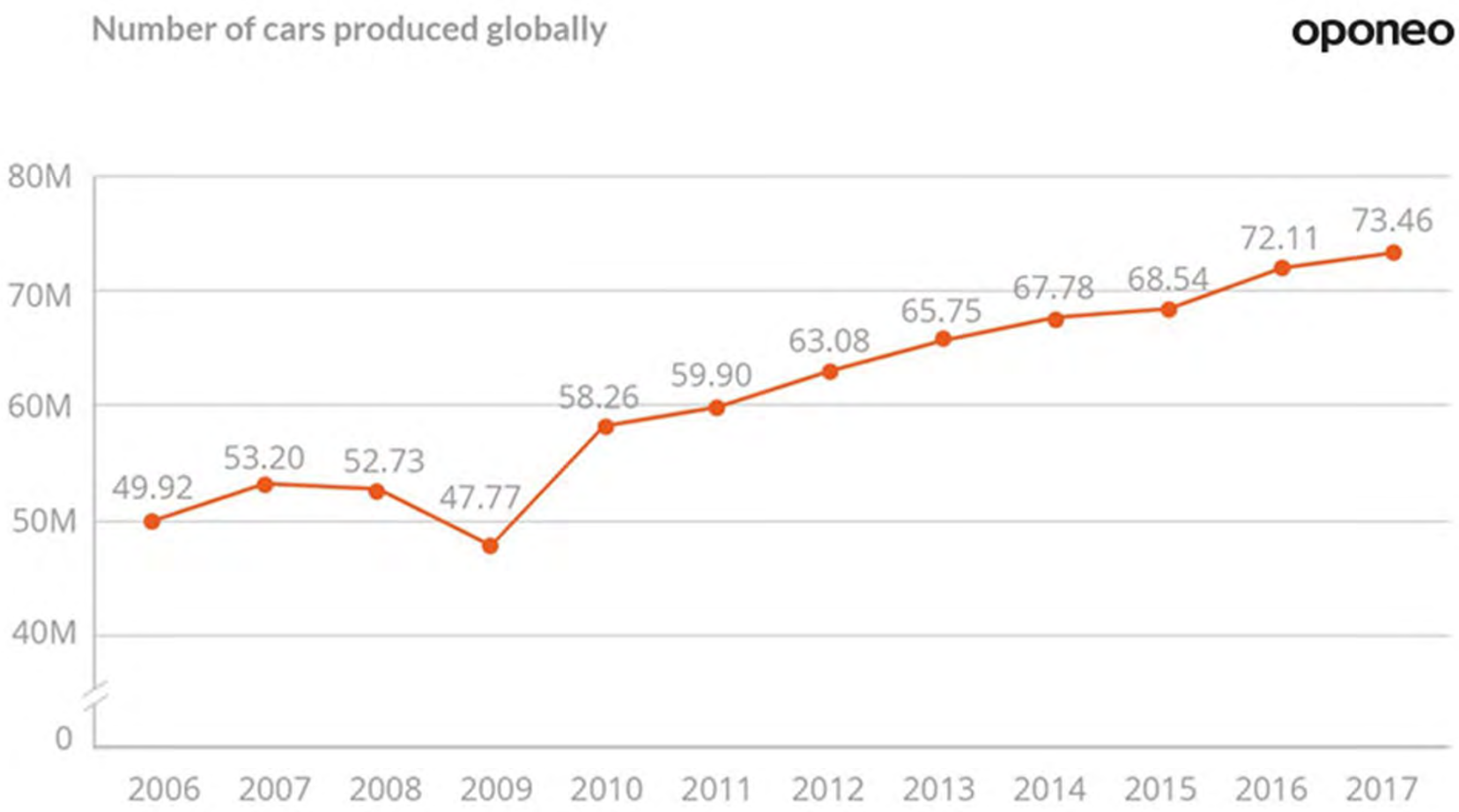

Georgia Tech
CREATING THE NEXT




- Congestion cost: $160 billion in productivity lost
- $960 per commute
- Congestion waste: 6.9 billion hours of extra time
- Fuel waste: 3.1 billion gallons
- Average of 63 hours of extra time per person

Georgia Tech
CREATING THE NEXT

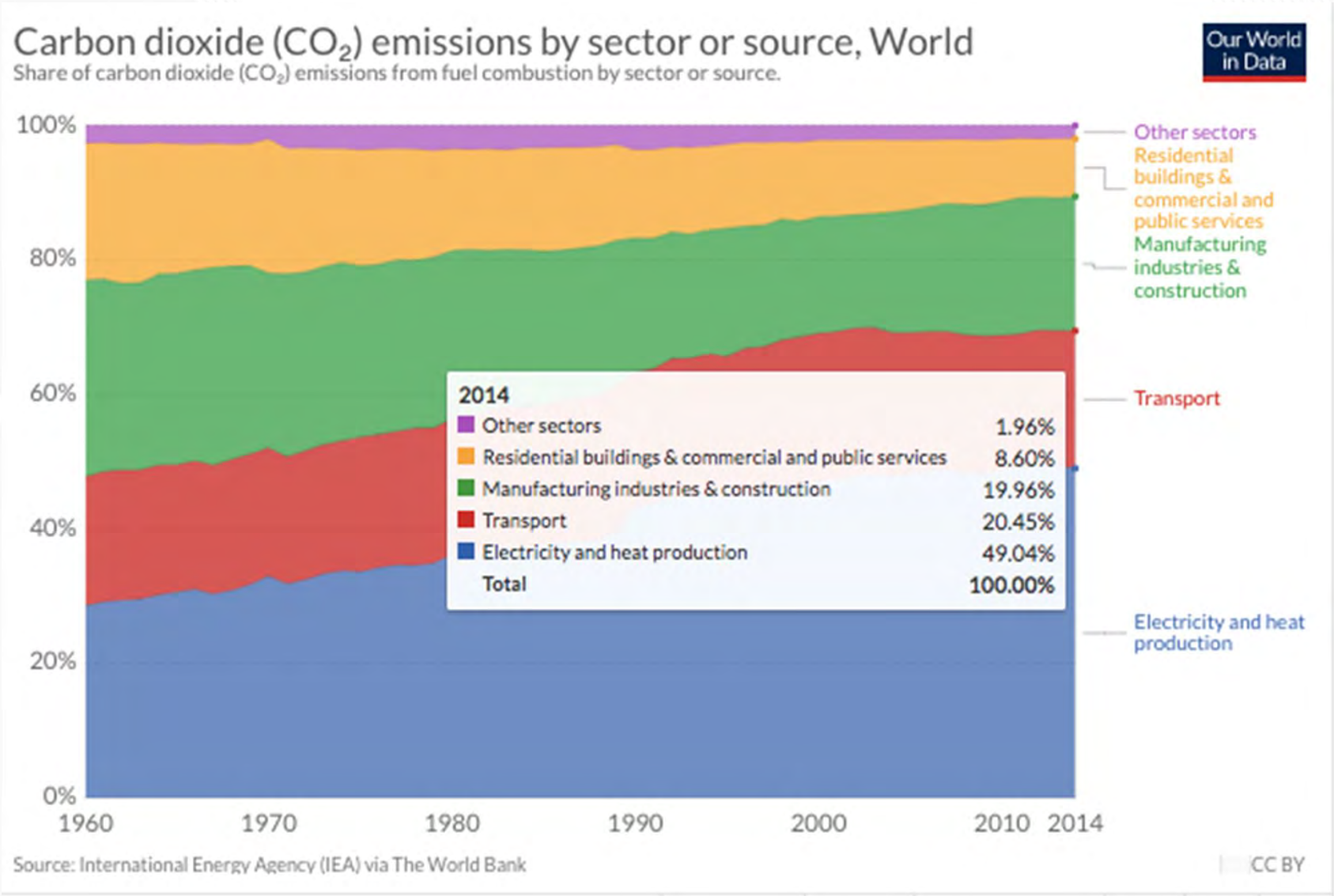
# Transportation




| | | |
|---|---|---|
| 2006 - 49.92 | 2010 - 58.26 | 2014 - 67.78 |
| 2007 - 53.20 | 2011 - 59.90 | 2015 - 68.54 |
| 2008 - 52.73 | 2012 - 63.08 | 2016 - 72.11 |
| 2009 - 47.77 | 2013 - 65.75 | 2017 - 73.46 |

(Source: worldometers.info, statista.com)

# Carbon Emissions by Sectors




rgia Tech
CREATING THE NEXT

# Transportation

YaleEnvironment360

*Published at the Yale School of Forestry & Environmental Studies*

Explore Search About E360

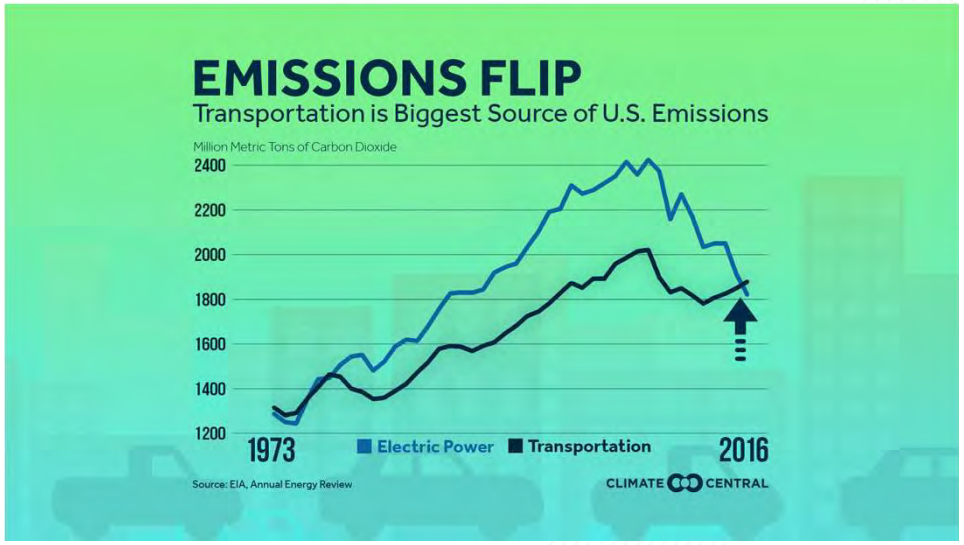
E360 DIGEST
DECEMBER 4, 2017

## Transportation Replaces Power in U.S. as Top Source of CO2 Emissions

Power plants have been the biggest source of greenhouse gas emissions in the United States for more than 40 years. But according to new data from the U.S. Energy Information Administration, transportation has now claimed the top spot.

Traffic in Times Square, New York City. BK/FLICKR

The U.S. transportation sector – which includes cars, trucks, planes, trains, and boats – now emits 1.9 billion tons of CO2 annually. The electric power sector emits 1.8 billions



# Pollution from Vehicles

| | MAJOR SOURCES | HEALTH EFFECTS | ENVIRONMENTAL EFFECTS |
|---|---|---|---|
| $SO_2$ | Industry | Respiratory and cardiovascular illness | Precursor to acid rain, which damages lakes, rivers, and trees; damage to cultural relics |
| $NO_x$ | Vehicles; industry | Respiratory and cardiovascular illness | Nitrogen deposition leading to over-fertilization and eutrophication |
| PM | Vehicles; industry | Particles penetrate deep into lungs and can enter bloodstream | Visibility |
| CO | Vehicles | Headaches and fatigue, especially in people with weak cardiovascular health | |
| Lead | Vehicles (burning leaded gasoline) | Accumulates in bloodstream over time; damages nervous system | Fish/animal kills |
| Ozone | Formed from reaction of $NO_x$ and VOCs | Respiratory illness | Reduced crop production and forest growth; smog precursor |
| VOCs | Vehicles; industrial processes | Eye and skin irritation; nausea; headaches; carcinogenic | Smog precursor |

Georgia Tech
CREATING THE NEXT

# Does Pollution Drive Achievement? The Effect of Traffic Pollution on Academic Performance

Jennifer Heissel, Claudia Persico, David Simon

**NBER Working Paper No. 25489**
**Issued in January 2019**
**NBER Program(s):** Children, Economics of Education, Environment and Energy Economics

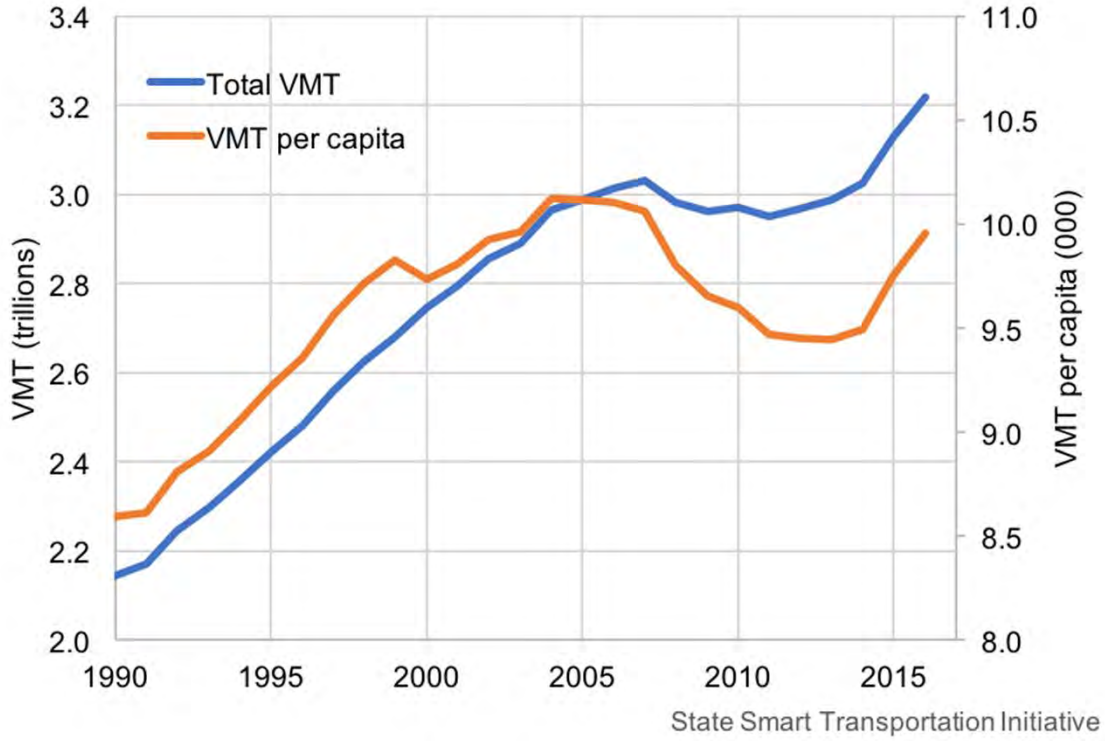
We examine the effect of school traffic pollution on student outcomes by leveraging variation in wind patterns for schools the same distance from major highways. We compare within-student achievement for students transitioning between schools near highways, where one school has had greater levels of pollution because it is downwind of a highway. Students who move from an elementary/middle school that feeds into a "downwind" middle/high school in the same zip code experience decreases in test scores, more behavioral incidents, and more absences, relative to when they transition to an upwind school. Even within zip codes, microclimates can contribute to inequality.

You may purchase this paper on-line in .pdf format from SSRN.com ($5) for electronic delivery.

Georgia Tech
CREATING THE NEXT

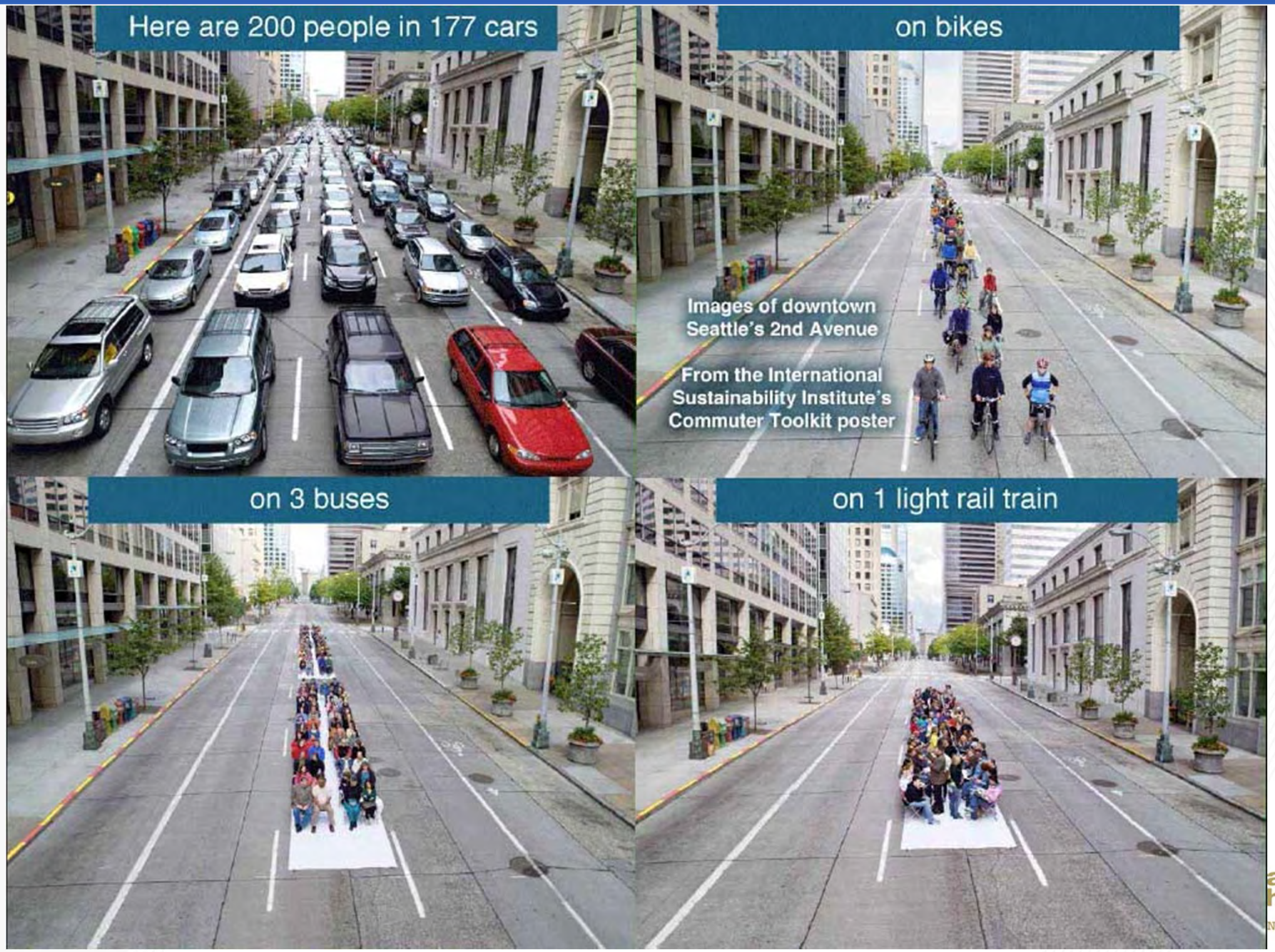
# Vehicle Miles Traveled

Vehicle miles traveled (VMT) is a measure used in transportation planning for a variety of purposes. It measures the amount of travel for all vehicles in a geographic region over a given period of time, typically a one-year period.

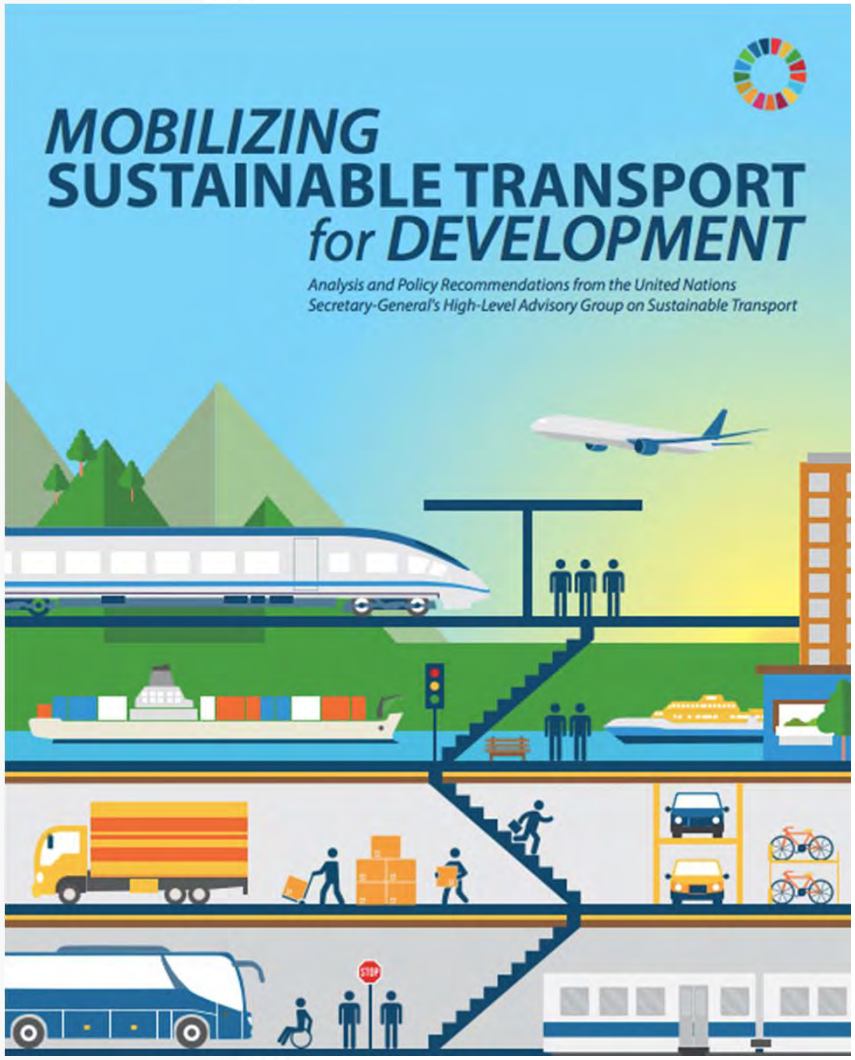



Georgia Tech
CREATING THE NEXT

# Transportation



# Sustainable Transportation




Sustainable transport is the provision of services and infrastructure for the mobility of people and goods by

advancing economic and social development (Economy) to

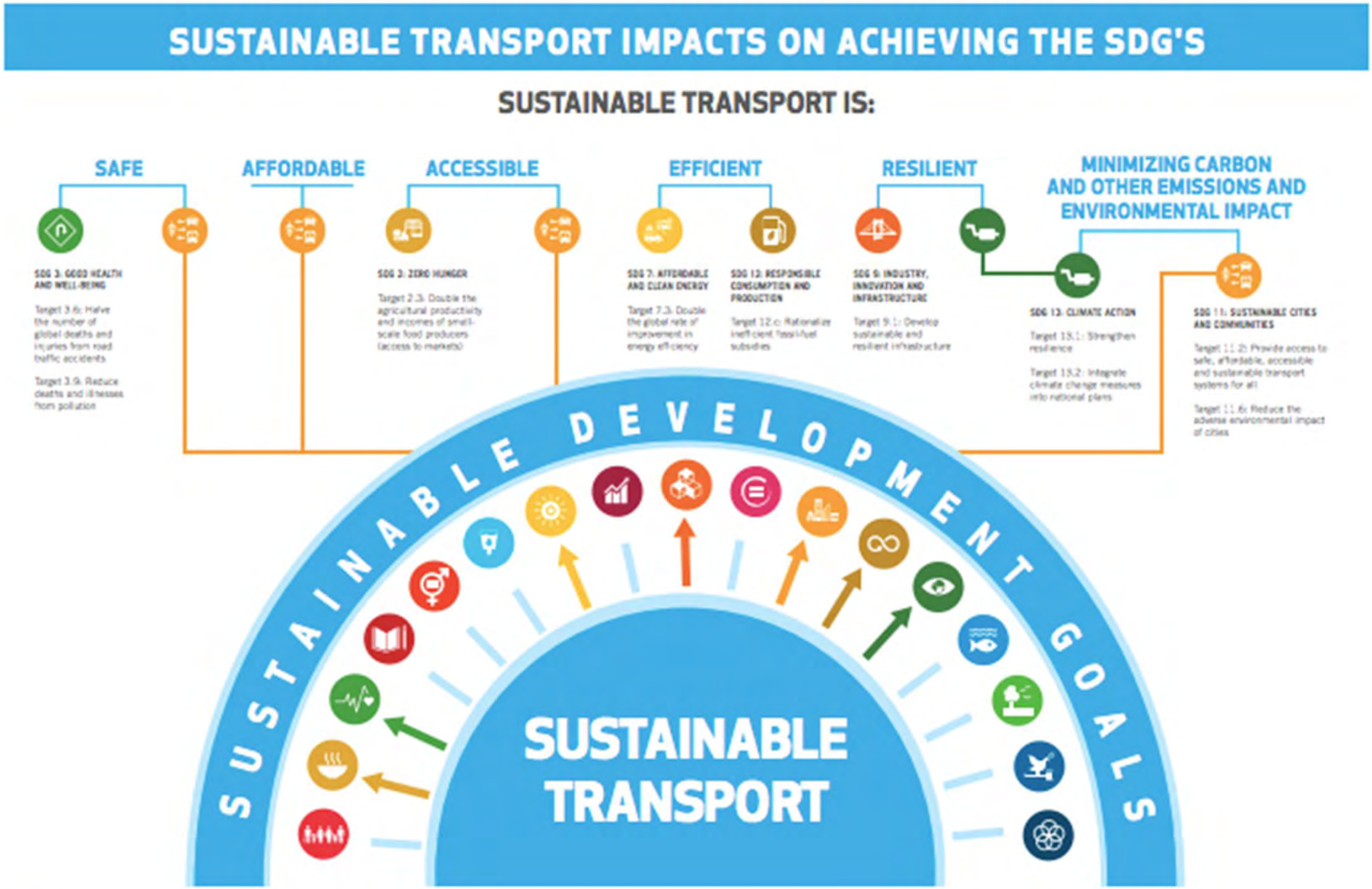
benefit today's and future generations—in a manner that is safe, affordable, accessible, efficient, and resilient (Equity)

while minimizing carbon and other emissions and environmental impacts (Environment).

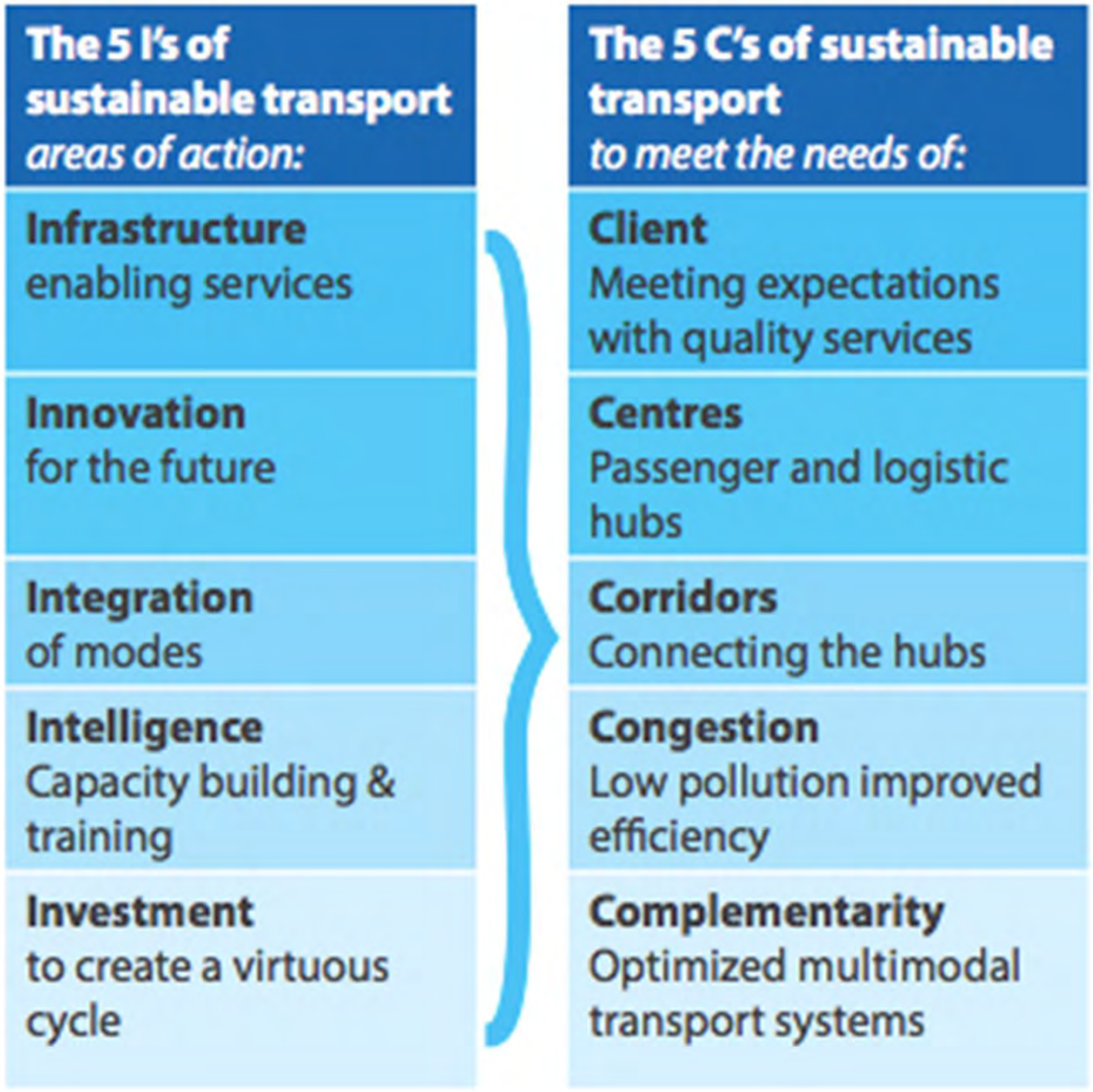
https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/2375Mobilizing%20Sustainable%20Transport.pdf

Georgia Tech
CREATING THE NEXT

# Sustainable Transportation

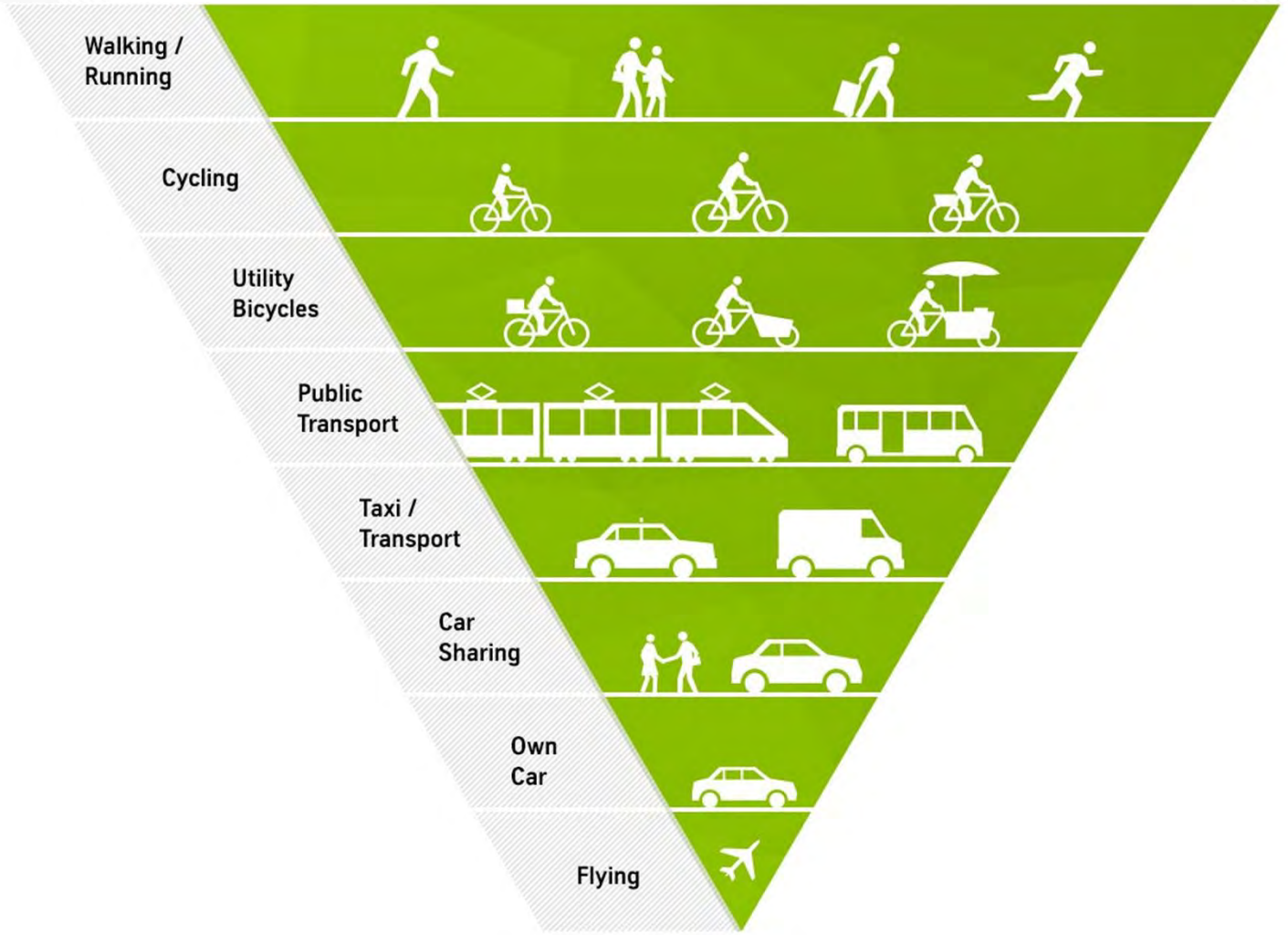


# Sustainable Transportation




Georgia Tech
CREATING THE NEXT

# Sustainable Transportation




© Bicycle Innovation Lab, Copenhagen, DK

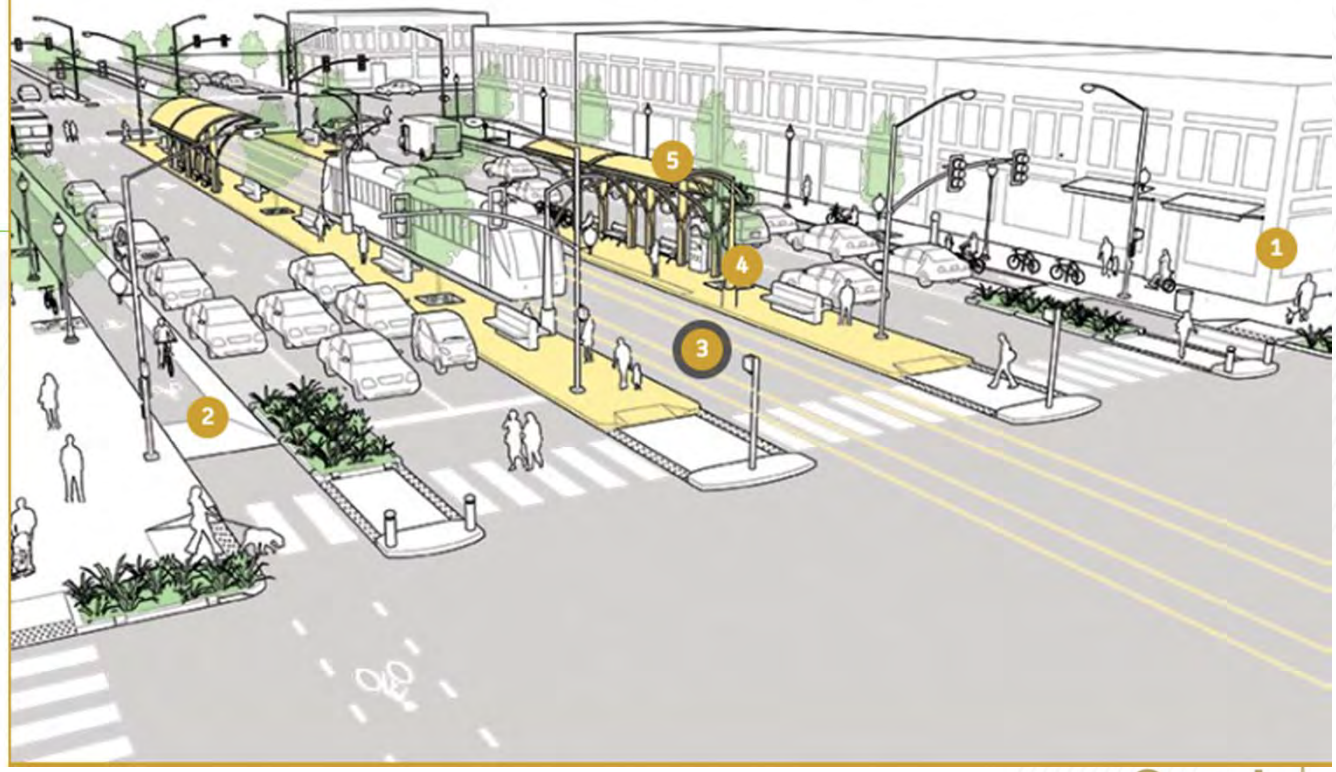
Georgia Tech
CREATING THE NEXT

NACTO MENU National Association of City Transportation Officials

Urban Street Design Guide

PURCHASE GUIDE GUIDE NAVIGATION

Transit Corridor



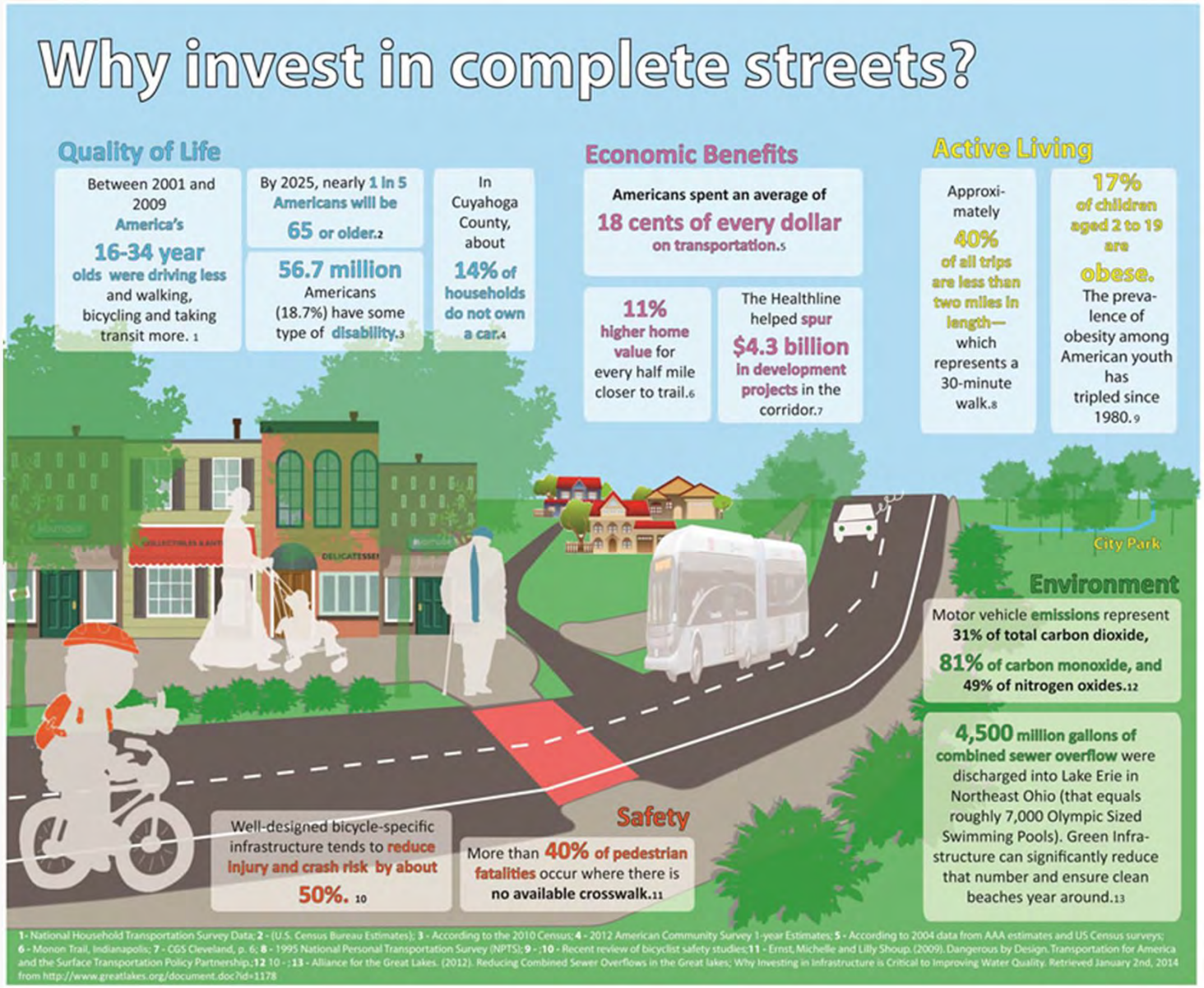

https://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/streets/transit-corridor/

# Infrastructure

Georgia Tech
CREATING THE NEXT

# Infrastructure

# Infrastructure




Georgia Tech
CREATING THE NEXT

# Infrastructure

Boston Complete Streets System

Georgia Tech
CREATING THE NEXT

# Innovation

Gondolas in Medellin, Colombia reduce commuting time from poor neighborhoods, reduce congestion and GHG emissions, and increase economic development

Georgia Tech
CREATING THE NEXT

HUFFPOST

03/02/2013 10:17 am ET | **Updated** Sep 30, 2013

# Medellin, Colombia Named 'Innovative City Of The Year' In WSJ And Citi Global Competition

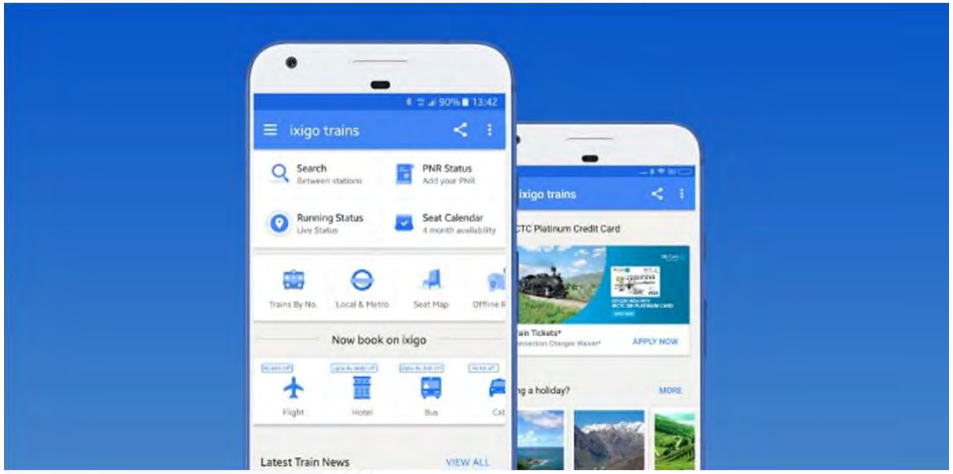
By Carolina Moreno

Whether it's correcting the misspelling of their country's name through social media, or revitalizing a city with a dark past, it seems that when Colombians come together there's little they can't do.

And the world is starting to notice. On Friday, Citi and the Marketing Services Department of the Wall Street Journal crowned Medellín, Colombia the "Innovative City of the Year," beating out fellow finalists New York City and Tel Aviv.

In 2012, the banking group and newspaper partnered with the Urban Land Institute (ULI), a non-profit research and education organization, to choose the world's most innovative city based on its economy, urban development, culture/livability, technology and research, among other measures. (Check Out A Video Of The Process)

# Integration



# Integration

AJC News Politics County by County Things to do Life Sports Subscribe Now Share Story

## Torpy at Large: Another lonely night on the Ghost Train, er, Streetcar

Saturday night on the Atlanta Streetcar, as photographed by urbanist Darin Givens. Photo: Darin Givens

Oct 25, 2017
By Bill Torpy, The Atlanta Journal-Constitution

Every now and again, I'll jump on the Atlanta Streetcar and ride the 2.7-mile loop around downtown. Usually, I'm a lonely boy.

Terms like "fiasco" and "boondoggle" follow Atlanta's $100 million loopty loo, but I've always rooted for it to work.

He wrote: "The common complaint about the streetcar is that it 'doesn't go anywhere,' which exposes a major flaw in land use. There should not be three miles in the original street grid of our historic city center that can ever be described as 'nowhere.' The fact that it can is proof of a failure that needs correction."

Georgia Tech
CREATING THE NEXT

# Intelligence

IoT

https://www.youtube.com/watch?v=4pbAI40dK0A

# Investment

## TRANSPORTATION FUNDING REFERENDA FACT SHEET: TSPLOST & MARTA

On November 8, 2016, Atlanta voters will have the opportunity to cast their ballots for two ballot referenda authorizing investment in transit and transportation infrastructure.

The City of Atlanta has proposed a special purpose local option sales tax for transportation – a TSPLOST – for four-tenths of a penny or an additional 4 cents on a $10 purchase. This TSPLOST will generate approximately $300 million over a five-year period to fund significant and expansive transportation projects citywide.

1. The City of Atlanta proposed TSPLOST project list is a smart, equitable approach to the city's long-term mobility and connectivity needs.
2. The projects were chosen through a rational process premised on a comprehensive strategy, long-standing priorities, project-readiness, ability to leverage current capital spending and the Renew Atlanta bond program.
3. The projects maximize federal, state and business community partnerships to build more, build smarter.
4. The projects will add to Atlanta's economic competitiveness and will benefit residents, employers, employees and visitors across the City.
5. Accountability and transparency are built into the project list and implementation plan.

### TSPLOST PROJECTS INCLUDE:

| | |
|---|---|
| ✓ Complete Streets | $75,398,139 |
| ✓ Sidewalks and Streetscapes | $69,611,838 |
| ✓ Atlanta Beltline/Multi-use Trails | $65,900,000 |
| ✓ Signal Coordination | $40,000,000 |
| ✓ Street, Capacity and Vehicular Improvements | $37,797,500 |
| ✓ Multi-Use Trails | $18,475,152 |
| ✓ Neighborhood Greenways | $4,107,013 |
| ✓ Project Scoping and Engineering Studies | $4,000,000 |
| ✓ Relay Bike Share | $3,000,000 |
| ✓ Partnership and Matching Funding | $40,000,000 |
| Project Total | $358,289,641 |
| Five (5) percent program management | $17,914,482 |
| One (1) percent State of Georgia | $3,762,041 |
| TOTAL | $379,966,165 |

If approved, 94 percent of all Atlanta residents and 98 percent of the city's jobs will be within a half-mile of a TSPLOST, MARTA or Renew Atlanta bond transportation or infrastructure project.

A special-purpose local-option sales tax (SPLOST) is a financing method for funding capital outlay projects in the U.S. state of Georgia. It is an optional 1% sales tax levied by any county for the purpose of funding the building of parks, schools, roads, and other public facilities.

cast their ballots.

Current sales tax in the City of Atlanta is 8 percent. The proposed TSPLOST is for an additional .4 percent sales tax. If the MARTA referendum is also approved, sales tax within the City of Atlanta would be set at 8.9 percent for five years. If approved, the TSPLOST will take effect on April 1, 2017.

Maintaining the public's confidence is important to the City of Atlanta. The program requires an annual audit tracking cost estimates and expenditures as well as an annual report underscoring transparency, efficiency and effectiveness in project delivery.

*To learn more, visit http://atlantaga.gov/tsplost.*

**THE BALLOT LANGUAGE WILL READ,**

**"SHALL AN ADDITIONAL 0.4 PERCENT SALES TAX BE COLLECTED IN THE CITY OF ATLANTA FOR 5 YEARS FOR THE PURPOSE OF TRANSPORTATION IMPROVEMENTS AND CONGESTION REDUCTION?"**

Georgia Tech
CREATING THE NEXT

Georgia Tech
CREATING THE NEXT

# Investment

TRANSPORT FOR LONDON | Plan a journey | Status updates | Maps | Fares | Help & contacts

Driving > Congestion Charge

## Congestion Charge

The Congestion Charge is an £11.50 daily charge for driving a vehicle within the charging zone **between 07:00 and 18:00, Monday to Friday.** The easiest way to pay is by registering for Congestion Charge Auto Pay. Exemptions and discounts are available.

You'll also need to check if your vehicle is affected by the T-Charge.

From 8 April 2019 you may have to pay a charge for driving withn the Ultra Low Emission Zone (ULEZ).

**The Congestion Charge is £11.50 per day.** However, you can reduce the costs by £1 a day with Auto Pay. Register for £10 per vehicle.

THE CONVERSATION
Rigor académico, oficio periodístico

# New York gets serious about traffic with the first citywide US congestion pricing plan

2 abril 2019 12:42 CEST

Traffic flows into Manhattan from Brooklyn over the Williamsburg Bridge. AP Photo/Mary Altaffer

Correo
Twitter
Facebook
LinkedIn

After years of debate, New York state has adopted congestion pricing to deal with traffic problems in New York City. Starting in 2021, fees will be imposed on all vehicles entering a pricing zone that covers lower Manhattan, from 60th Street at the southern edge of Central Park to the southernmost tip of the island.

Autor

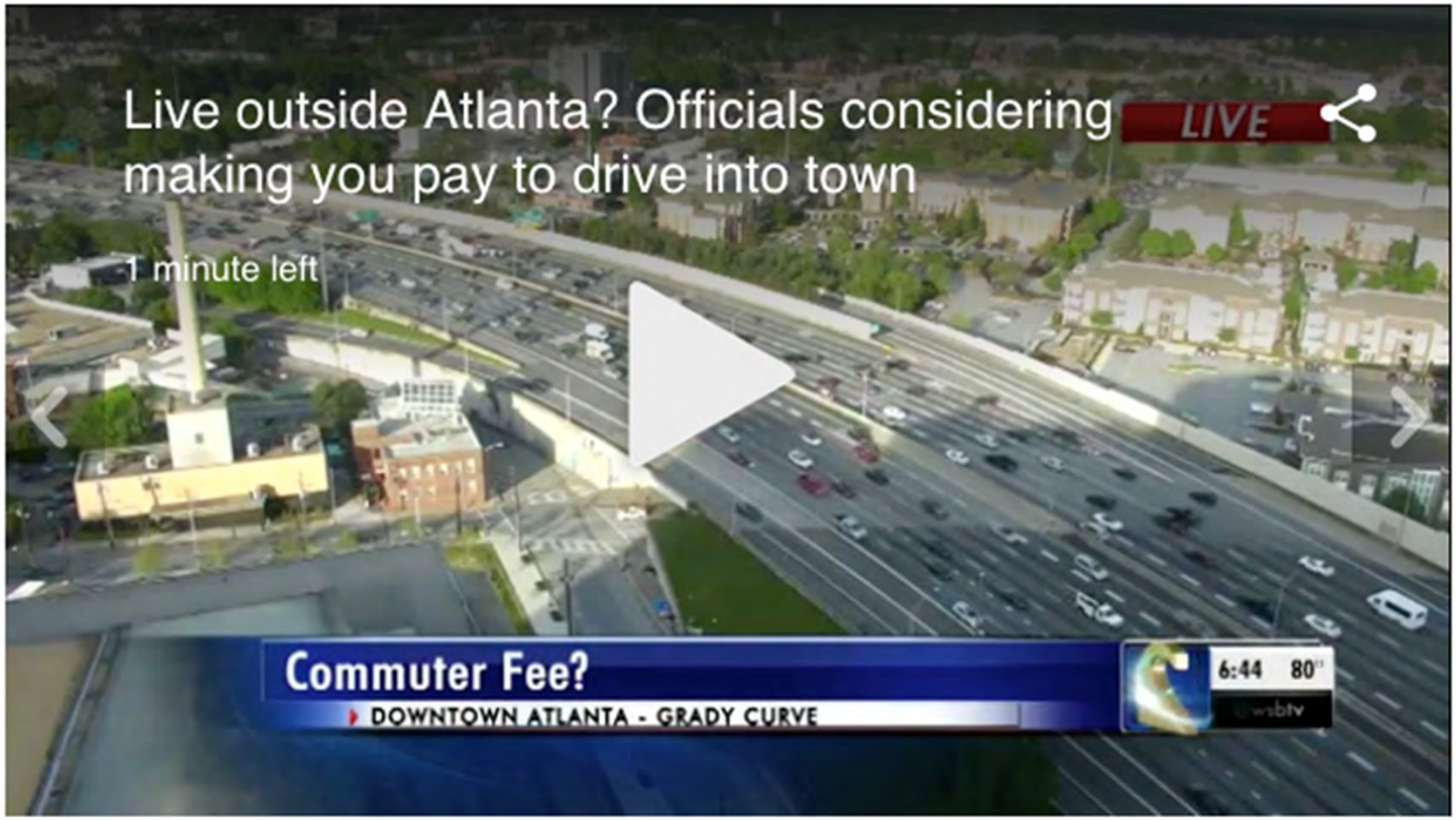
John Rennie Short
Professor, School of Public Policy, University of Maryland, Baltimore County

CREATING THE NEXT

# Live outside Atlanta? Officials considering making you pay to drive into town

By: Dave Huddleston

Updated: Apr 22, 2019 - 10:53 AM




Georgia Tech
CREATING THE NEXT

# Leading Efforts: Atlanta BeltLine

# Leading Efforts: Atlanta BeltLine

Georgia Tech
CREATING THE NEXT

# Leading Efforts: Atlanta BeltLine

| YEAR | AWARD | PROJECT |
|---|---|---|
| 2017 | American Society of Landscape Architects Honors | Olmsted Award for Atlanta BeltLine, Inc. and Atlanta BeltLine Partnership |
| 2016 | Academy of Interactive and & Visual Art Communicator Award | Award of Distinction for Intown Living - Atlanta BeltLine edition |
| 2016 | Academy of Interactive & Visual Arts Communicator Awards | Award of Distinction for 2014 Annual Report |
| 2016 | National Arbor Day Awards | Excellence in Partnership for Atlanta BeltLine Arboretum |
| 2016 | Institute for Sustainable Infrastructure | Envision Gold Award for Historic Fourth Ward Park |
| 2016 | Metro Atlanta Chamber of Commerce | E3 Award in Moving the Needle category |
| 2015 | InterBike's Places for Bikes Award | Atlanta BeltLine |
| 2015 | Phoenix Award for Excellence in Brownfield Development (2013 Region 4) | Eastside Trail/Historic Fourth Ward Park |
| 2015 | Urban Land Institute Atlanta Chapter Building Healthy Places Award | Eastside Trail/Historic Fourth Ward Park |
| 2015 | International Economic Development Council Silver Award for Excellence in Economic Development - Annual Report | 2014 Atlanta BeltLine, Inc. Annual Report |
| 2015 | International Economic Development Council Gold Award for Excellence in Economic Development - Neighborhood Development | Eastside Trail/Historic Fourth Ward Park |
| 2015 | National Recreation and Park Association | National Partnership Award |
| 2015 | Atlanta Urban Design Commission | Award of Excellence for Art on the Atlanta BeltLine |
| 2014 | Brownfield Renewal | Sustainability category for Historic Fourth Ward Park |
| 2014 | Florida Chapter of the American Society of Landscape Architects | Wood+Partners won Award of Merit for Historic Fourth Ward Park |
| 2014 | Harlem Fine Arts Show | Arts and Community Award for Art on the Atlanta BeltLine |
| 2014 | International Real Estate Federation (FIABCI) Prix d 'Excellence Award | International Grand Prize for Historic Fourth Ward Park and the Eastside Trail |
| 2014 | ACEC Engineering Excellence Award | State Finalist for the Eastside Trail |
| 2014 | ACEC Engineering Excellence Award | Recognition Award for the Eastside Trail |

Georgia Tech
CREATING THE NEXT

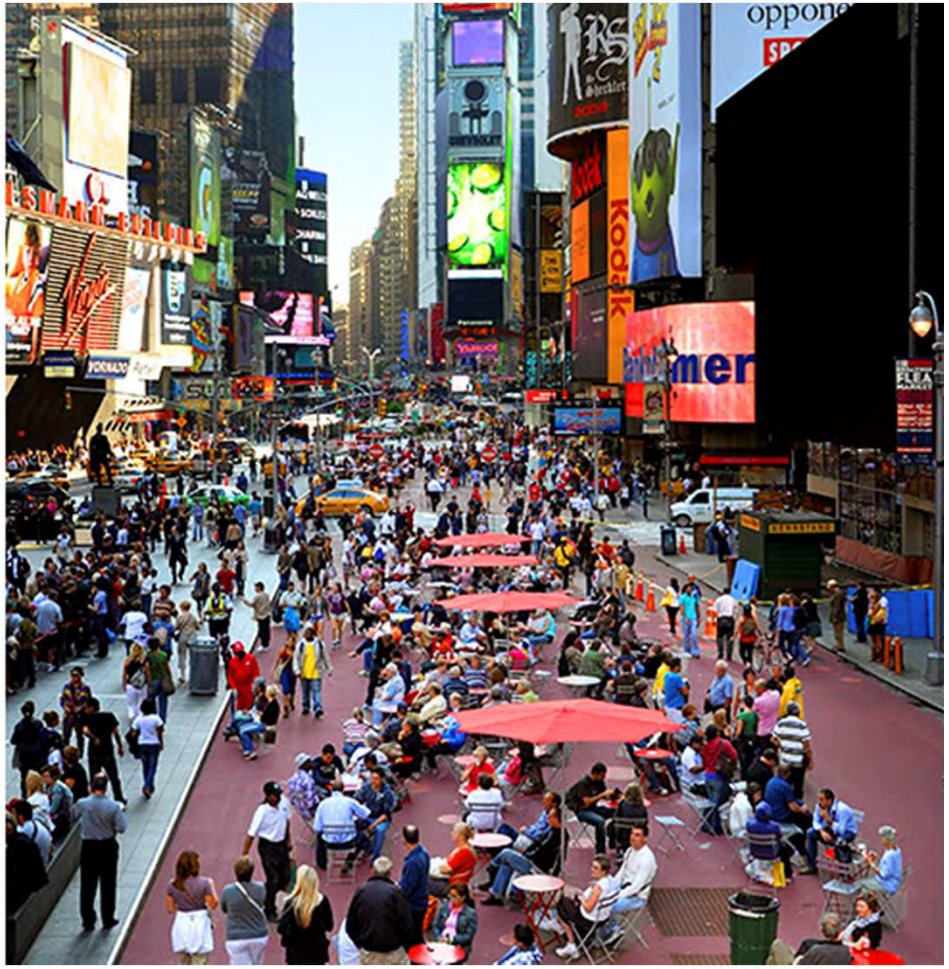
# Leading Efforts: Ciclovia – Bogota, Colombia

Georgia Tech
CREATING THE NEXT

# Leading Efforts: Streets Alive - Atlanta

Georgia Tech
CREATING THE NEXT

# Taking back the Streets: Time Square




Georgia Tech
CREATING THE NEXT

# Taking back the Streets

Support The Guardian
Available for everyone, funded by readers
Contribute → Subscribe →
Search jobs | Sign in | Search | International edition
The Guardian
News Opinion Sport Culture Lifestyle More
World ▸ Europe US Americas Asia Australia Middle East Africa Inequality Cities Global development

Walking the city
Cities

## 'For me, this is paradise': life in the Spanish city that banned cars

Cities is supported by
The Rockefeller Foundation
About this content

Stephen Burgen *in Pontevedra*

Tue 18 Sep 2018 11.00 BST

15,499 1,538

▲ Calle Mellado before and after the implementation of the scheme. Photograph: Concello de Pontevedra

In Pontevedra, the usual soundtrack of a Spanish city has been replaced by the tweeting of birds and the chatter of humans

Advertisement
100 RESILIENT CITIES
RESILIENT CITIES FOR THE 21ST CENTURY

Georgia Tech
CREATING THE NEXT

# Taking back the Streets

INDEPENDENT

NEWS VOICES SPORT CULTURE INDY/LIFE INDYBEST VIDEO DAILY EDITION COUPONS

Paris, Copenhagen and Oxford announced bans on petrol and diesel cars this week.

Paris will ban all petrol- and diesel-fuelled cars by 2030, a decade ahead of France's 2040 target. Copenhagen plans to ban diesel cars from 2019, while Oxford has proposed banning all non-electric vehicles from its centre from 2020. This would make central Oxford the world's first zero-emissions zone, officials believe.

The public health risk from polluted air is the main reason for the bans, according to city officials.

Squarespace Website Builder

Everything yo need to build grow your business. Cre your online st today.

News > World

## European cities announce bans on petrol and diesel cars as green initiative spreads across continent

'It's not a human right to pollute the air for others'

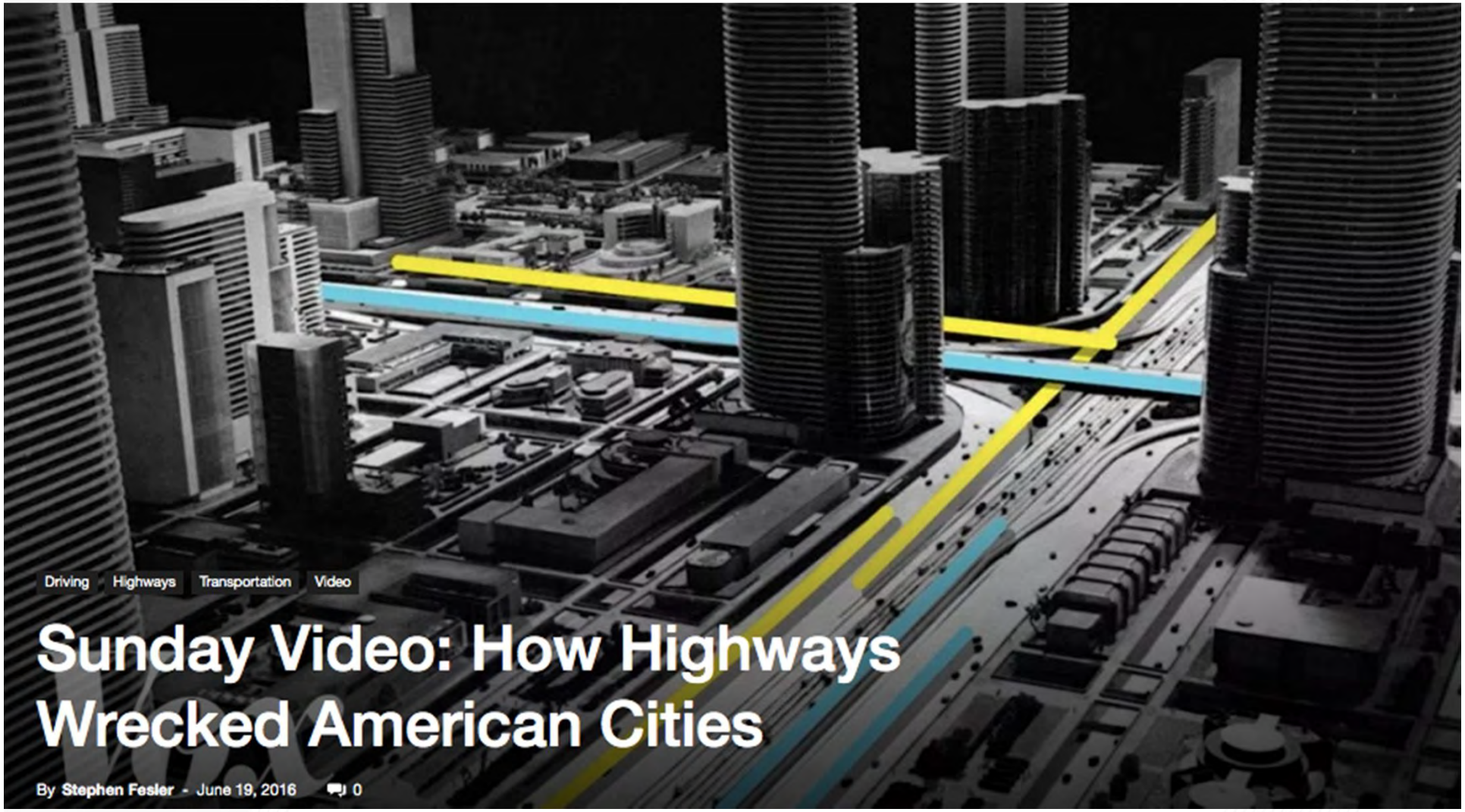
Charlotte Beale | @CharlotteAGB |
Saturday 14 October 2017 15:52 |

Like Click to follow The Independent

Oxford has proposed banning all non-electric vehicles from six streets in its city centre from 2020 ( Getty )

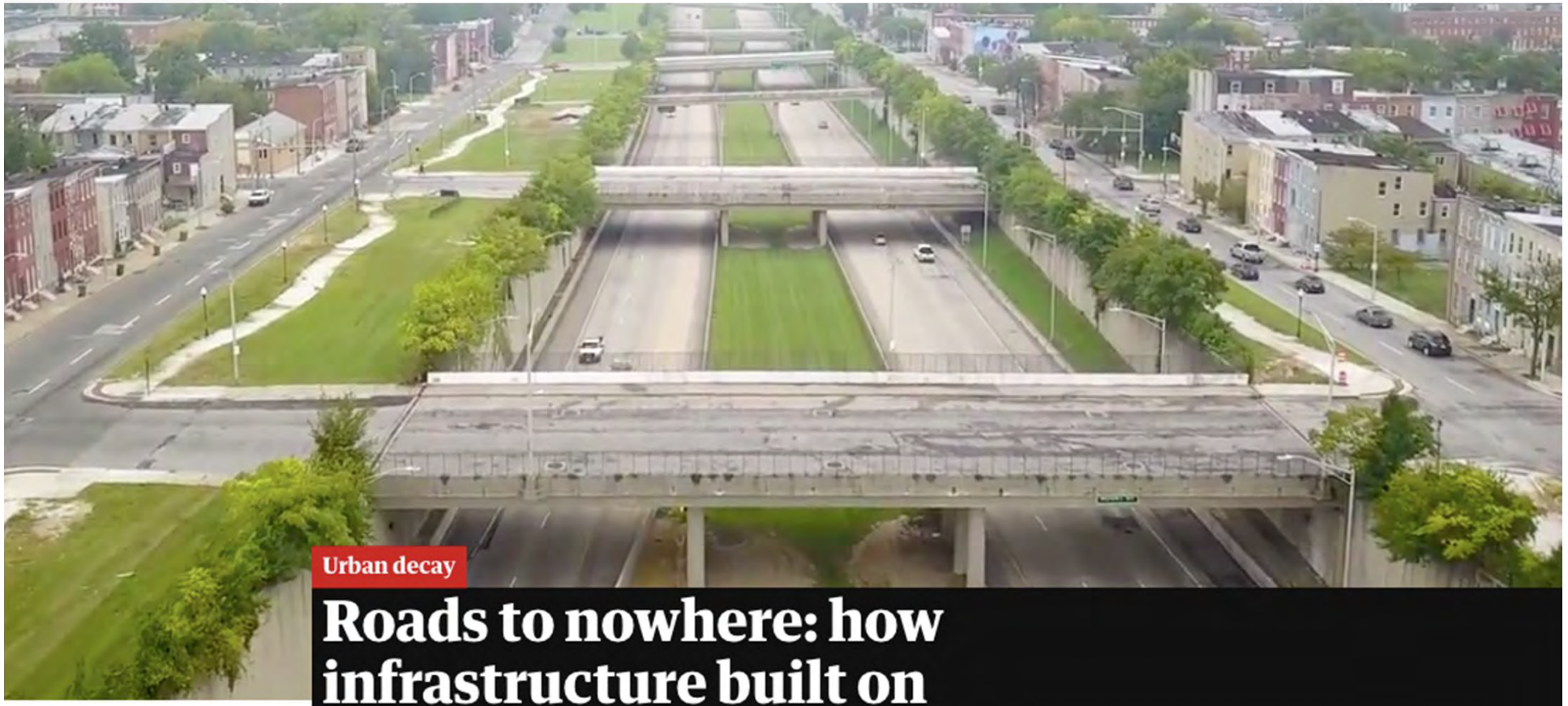
Georgia Tech
CREATING THE NEXT

# Learning from the past




Georgia Tech
CREATING THE NEXT

# Learning from the past



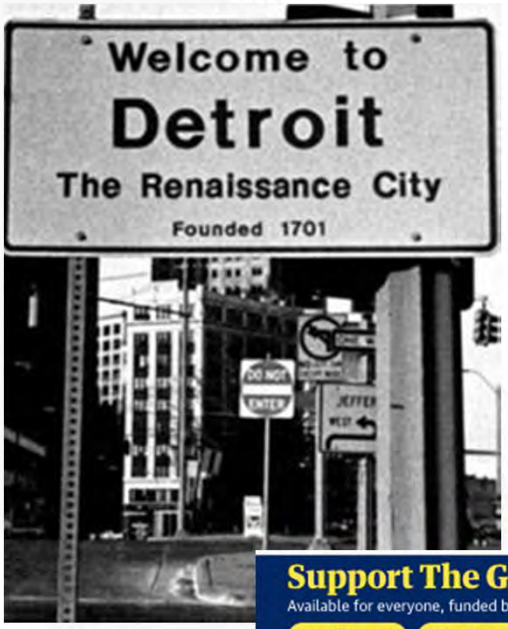
Urban decay

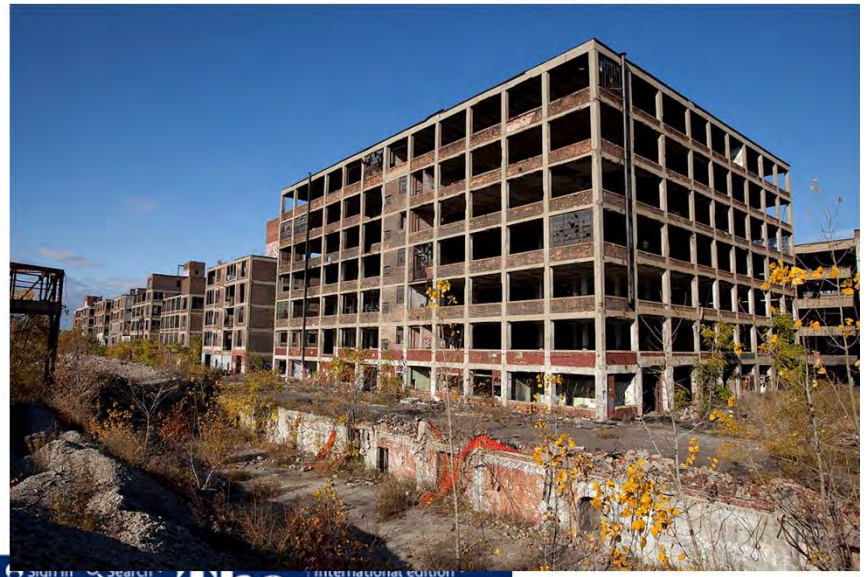
## Roads to nowhere: how infrastructure built on American inequality

From highways carved through thriving 'ghettoes' to walls segregating black and white areas, US city development has a long and divisive history

by Johnny Miller

# Learning from the past



Support The Guardian
Available for everyone, funded by readers
Contribute → Subscribe →

Search jobs

The Guardian

News | Opinion | Sport | Culture | Lifestyle | More

World UK Science Cities Global development Football Tech Business Environment Obituaries

Cities

## The death of a great American city: why does anyone still live in Detroit?

The city's social contract was shredded long ago and everyone knows time is running out - but some Detroiters have hope

- Atlanta's food deserts leave its poorest citizens stranded

Cities is supported by The Rockefeller Foundation

About this content

David Uberti *in Detroit*

Thu 3 Apr 2014 14.28 BST

2,330 686

▲ A vacant and blighted home on Detroit's east side. Photograph: Reuters

Advertisement

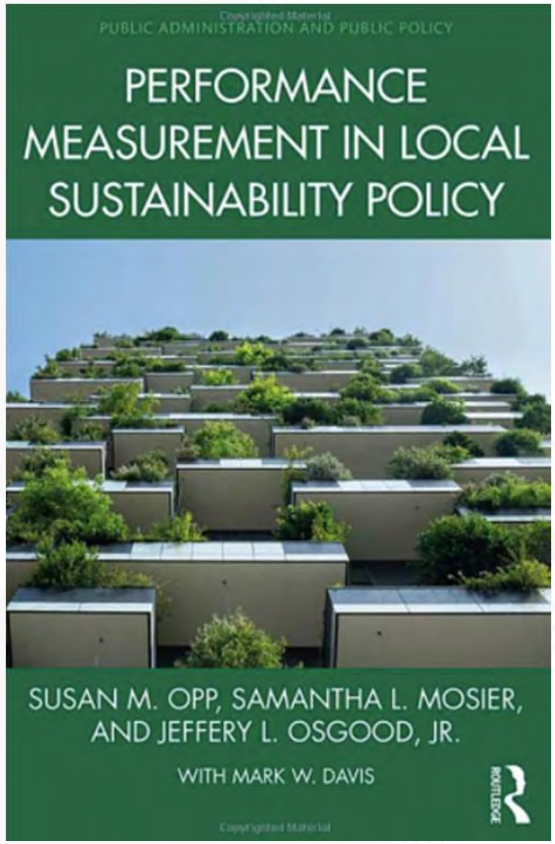
Georgia Tech
CREATING THE NEXT

# Learning from the past: Detroit of Today

# Conclusions

- Cities ARE for people, no cars
- Streets designed for people allow economic development
- Streets designed for people sustain livable and healthier communities
- Streets designed for people reduce carbon emissions
- Streets designed for people are a significant solution to reduce our impact on climate change

Georgia Tech
CREATING THE NEXT




# Dr. Jairo Garcia

Jairo.garcia@design.gatech.edu
+1-404-210-7575

Georgia Tech
CREATING THE NEXT

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

:30 - 14:30

**SIÓN 2 Track A. CLIMATE CHANGE: WHAT**
**N WE DO TO MITIGATE IT**
odera: Adriana Thumann

limate Change Project – Introduction to
mate Change" **Álvaro Rodríguez.** Director
**E CLIMATE REALITY PROJECT**

business narrative: fighting against chan-
is mandatory feasible, cheap and plenty
opportunities" **Carlos Salle Alonso.** Direc-
de Políticas Energéticas y Cambio Cli-
ático. **IBERDROLA**

"Water - The Molecular Planetary Flyw
in Action" **Dr. Adam Wexler.** Chief Scie
Officer. **Joi Scientific**

"Taking back the streets: Cities, Trans
tation, and Climate Change" **Jairo Ga**
Professor **Georgia Tech. School of City**
**Regional Planning**

"Solution - Circular Economy how it w
and how to implement" **Álvaro Rodríg**
Director **THE CLIMATE REALITY PROJE**

# Economía Circular Real: del reciclaje al supraciclaje

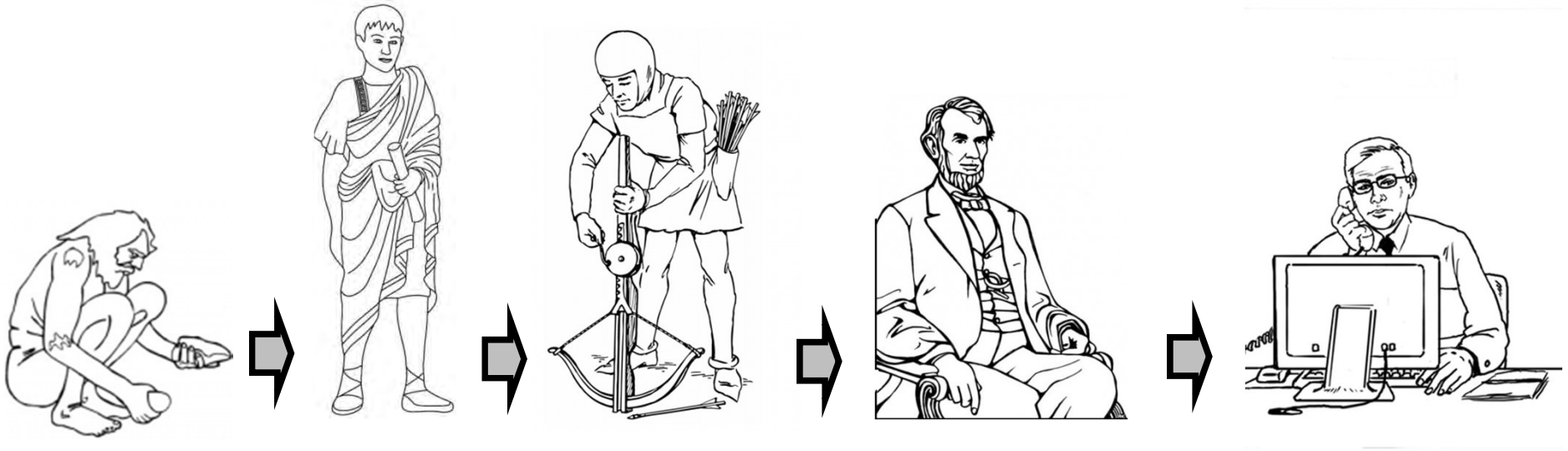
Alvaro Rodríguez

# ¿HAY LUZ AL FINAL DEL TUNEL?

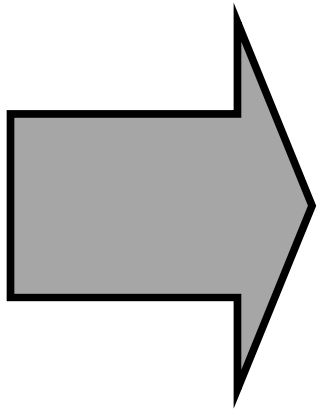
“Las hojas caídas de un cerezo volverán a la tierra, convirtiéndose de nuevo en alimento del cerezo” .

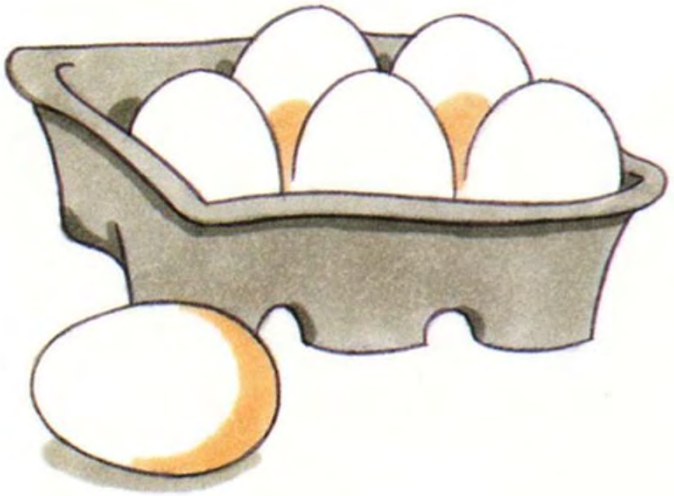
(Michael Braungart)

# HEMOS EVOLUCIONADO DE FORMA ASIMÉTRICA



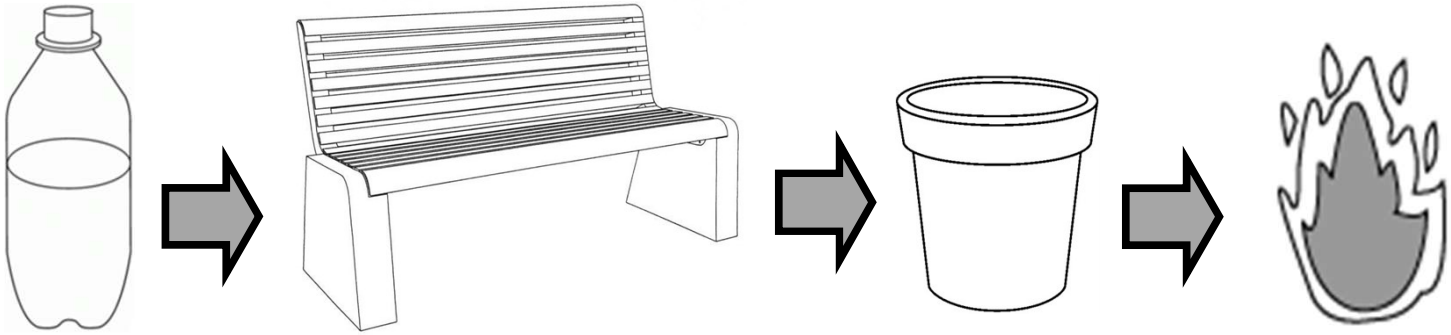
# EVOLUCIÓN





# ¿QUÉ EVOLUCIÓN HEMOS SEGUIDO CON LOS RESIDUOS?

# ¿Es el reciclado la solución?



**Infraciclado**

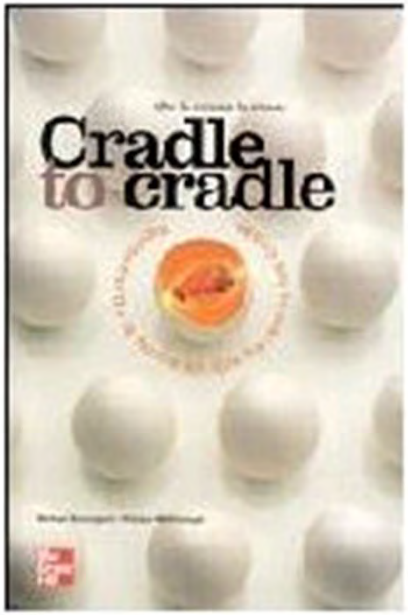
# CRADLE TO CRADLE

## (DE LA CUNA A LA CUNA)

**William McDonough**

Arquitecto

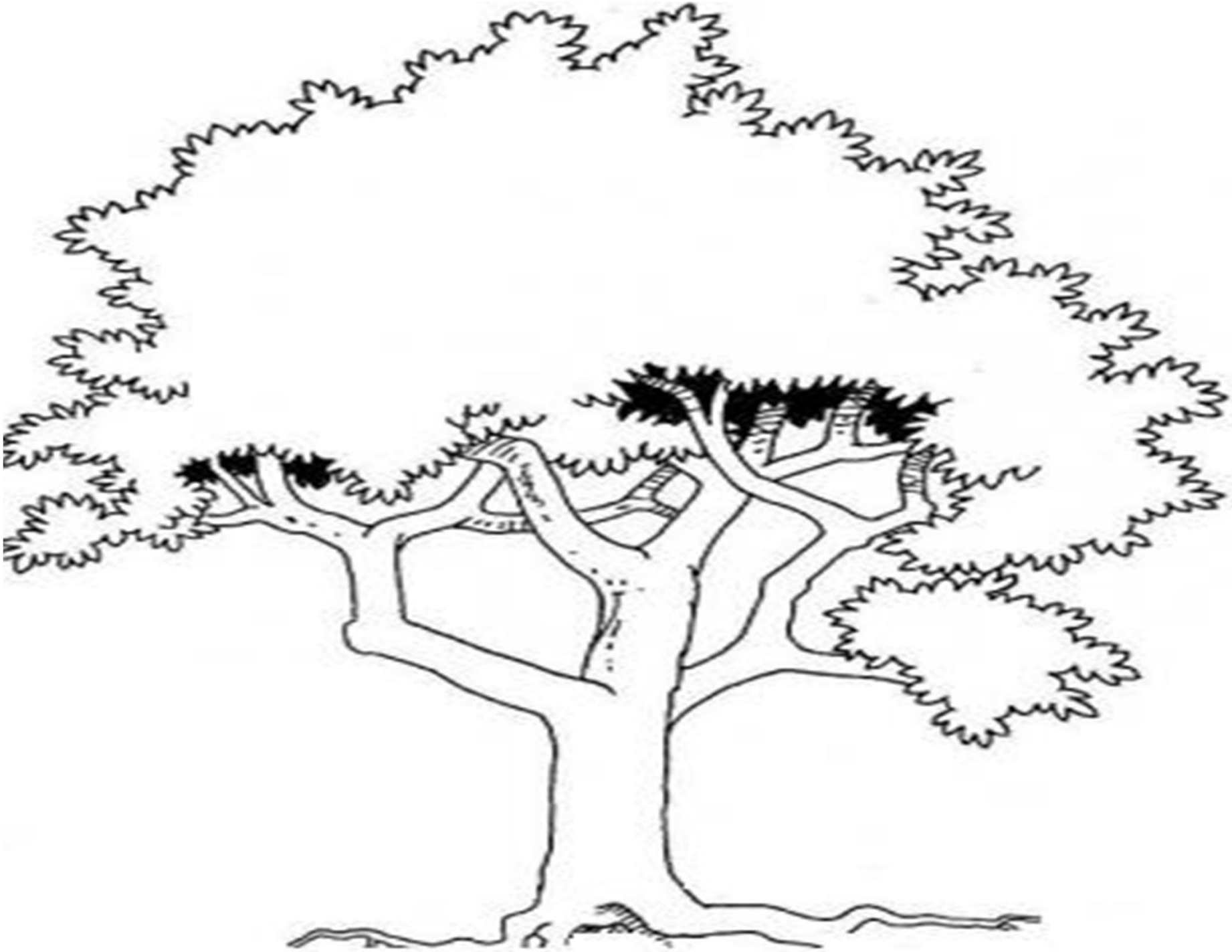
Diseñador y autor conocido por su trabajo en sostenibilidad

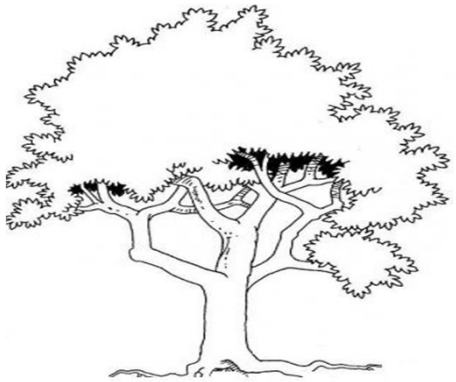


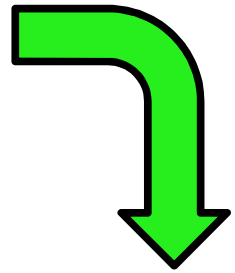
**Michael Braungart**

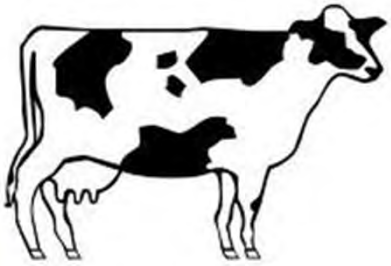
Ingeniero Químico

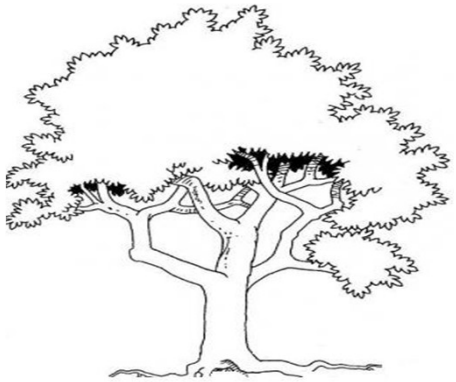
Director y fundador de la Agencia de Protección y Estímulo Medioambiental

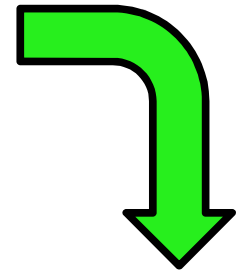


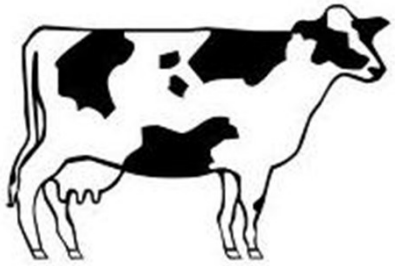


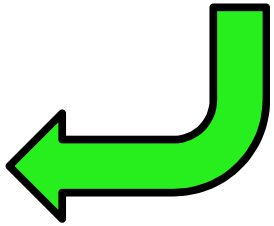


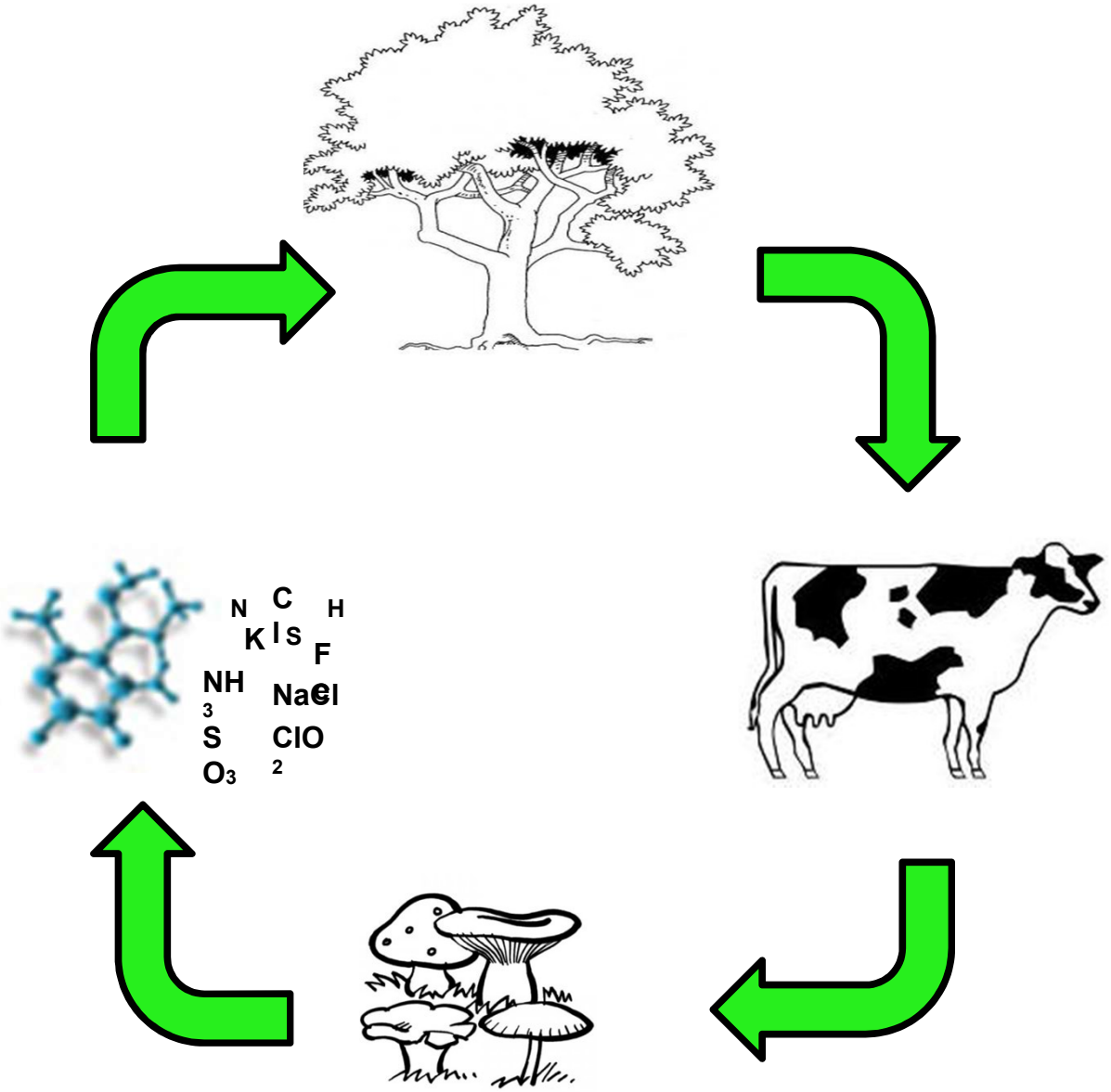


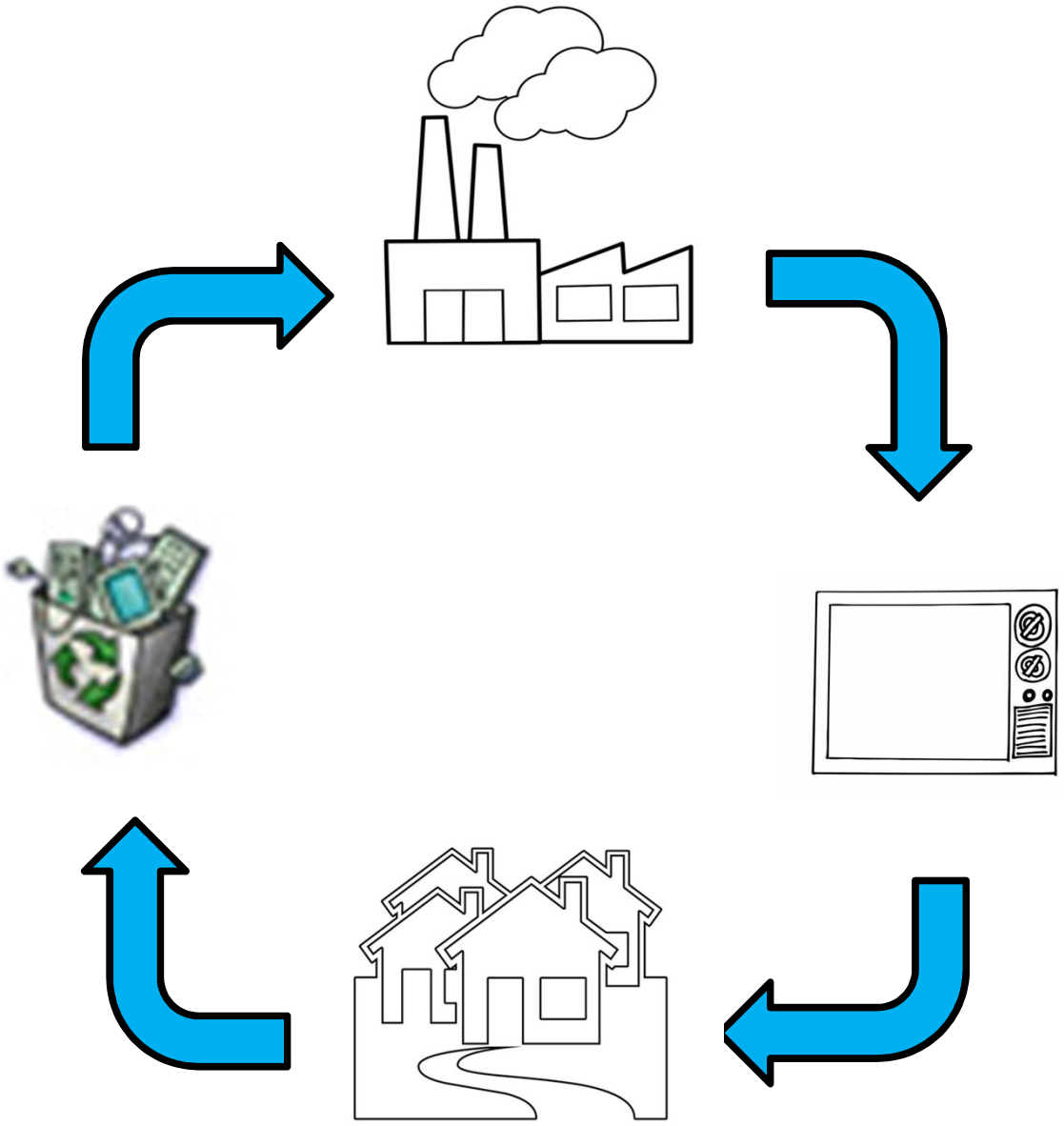








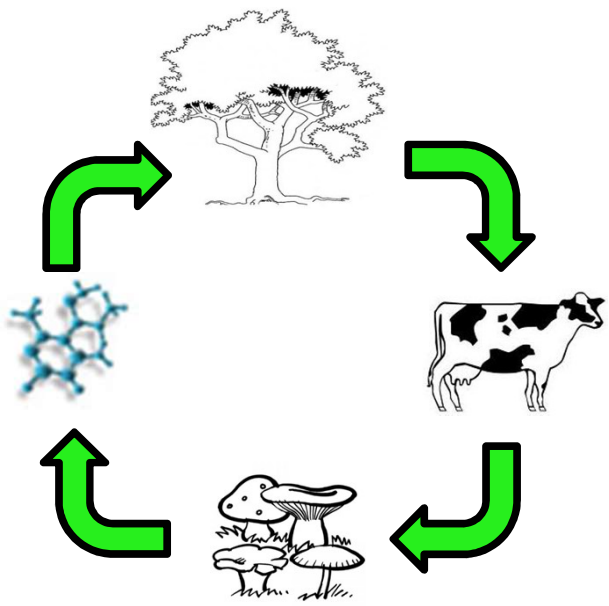

N
C
H
K
I
S
F
NH3
NaCl
SO3
ClO2

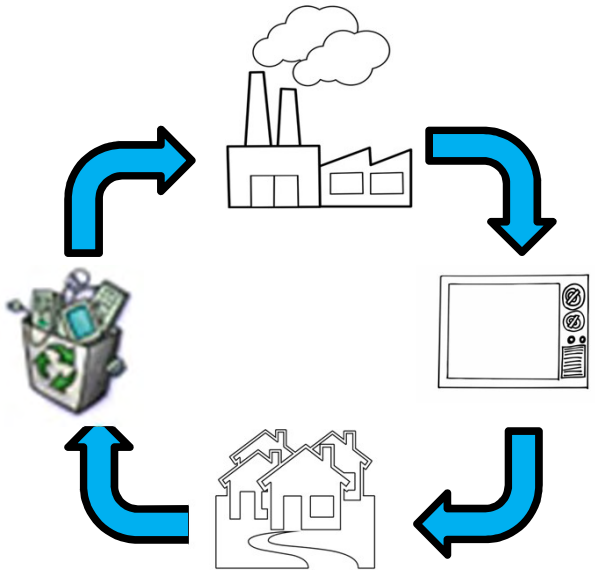


# CRADLE TO CRADLE
# (DE LA CUNA A LA CUNA)

**WASTE = FOOD**

**RESIDUO = ALIMENTO**





# ¿UTOPIA?

HermanMiller

- **Protocolo Cradle to Cradle**
- Uso de materiales inofensivos para el hombre y los animales.
- Reutilizables en la biosfera o en la tecnosfera.
- Productos desmontables.

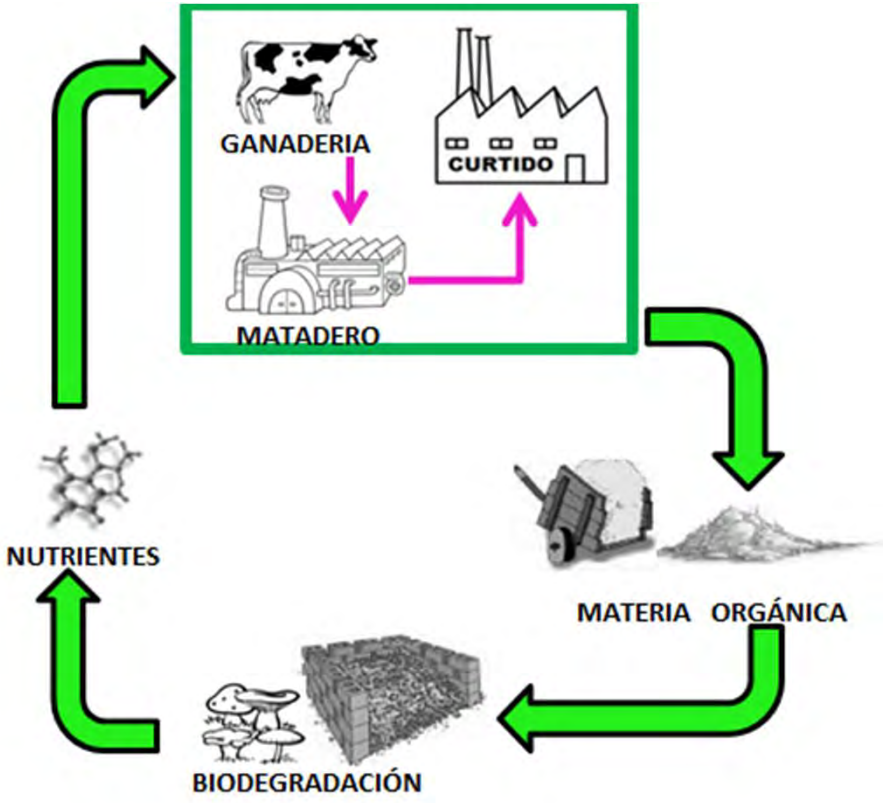
Línea de sillas “Espejo”

# Objetivo de la filosofia Cradle to Cradle

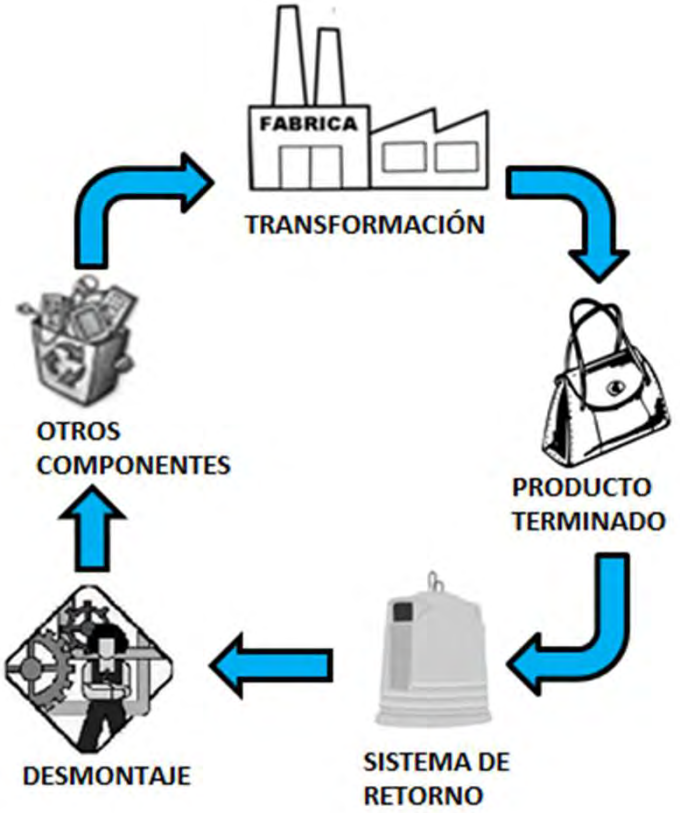
“Seguridad diversa y saludable, un mundo con aire limpio, suelo fértil, agua y energía, disfrutado económicamente, equitativamente, ecológicamente y con elegancia”.

**W. McDonough**

# CICLO BIOLÓGICO




# CICLO TÉCNICO

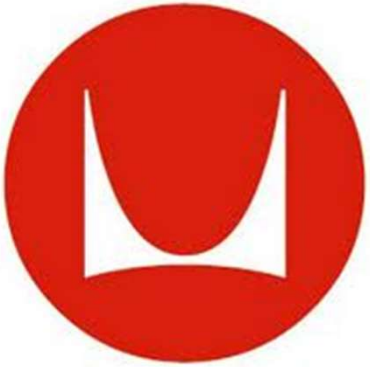


# LOS QUE YA LO HAN HECHO

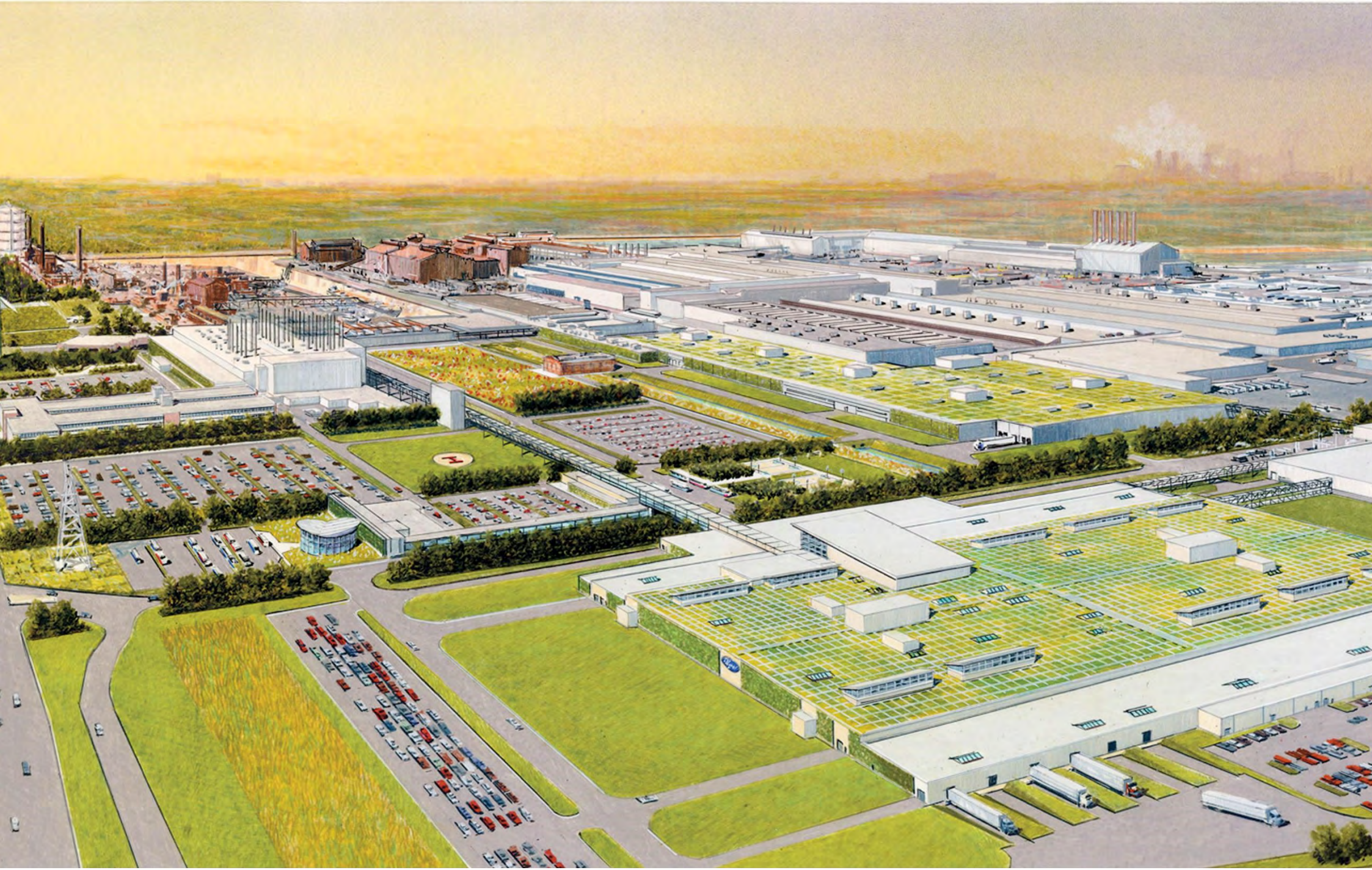
climatex®

trigema®

Ford



cradle to cradle



Ford

WASH

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

12:30 - 14:30

**SESIÓN 2 Track B. ENERGÍAS RENOVABLES y SMART GRIDS**

Modera: Eugenia Sillero **GASNAM**

"El biogás en España" **Luis Alberto Sebastián González.** Technical Director **GENIA BIOENERGY**

"Inyección de biometano en la red de gas natural vs compostaje y producción de biogás: un análisis de factores para toma de decisiones" **Montserrat Zamorano Toro.** Responsable Innovación **UNIVERSIDAD DE GRANADA (UGR)**

"Caso de éxito de simuladores para la recuperación de tensión en islas eléctricas. Bases para el digital twin de centrales eléctricas" **Patricia Romero.** Ingeniero de Operación, Responsable Comercial Área Simulación. **TECNATOM**

"Peak-Shaving Application with Energy Storage Systems in Microgrids" **Manuel García Plaza.** Control Algorithms Manager **SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# EL BIOGÁS EN ESPAÑA

Luis Alberto Sebastián González

Genia global energy

aee The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice

1. Introducción al biogás
2. El sector del biogás en España
3. Opciones de desarrollo
   a) Autoconsumo térmico
   b) Autoconsumo eléctrico - Cogeneración
   c) Upgrading-Biometano
      i. Inyección a red
      ii. Combustible vehicular
4. Beneficios medioambientales
5. Ejemplos / Casos tipo

# 1. Introducción al biogás

## ¿Cómo encaja la bioenergía en las nuevas tendencias económicas, sociales y normativas en Europa?

### Economía circular

La economía circular es una estrategia simple, pero convincente, que tiene como objetivo reducir tanto la entrada de los materiales como la producción de desechos vírgenes, cerrando los bucles o flujos económicos y ecológicos de los recursos.

La bioenergía permiten el aprovechamiento de los residuos para la generación de energía y de subproductos como fertilizante, compost, azufre y CO2.

### Regulación contra el desperdicio de alimentos

La Comisión Europea está trabajando en una serie de Directivas y Reglamentos para potenciar y promover la Economía Circular.

# 2. El sector del biogás en España

**Potencial** de producción
26 TWh/año

→

**40%** de la demanda de los hogares en España

En España hay un potencial de producción de gas mediante digestión anaerobia de 26.684 GWh, suficiente para cubrir el 40% de la demanda de los hogares del país.

Sin embargo, en nuestro país hay apenas 300 instalaciones de producción de biogás registradas: 174 en depuradoras, 44 en el sector agroganadero, 33 en el sector alimentario, 30 en estaciones de tratamiento de residuos sólidos urbanos, 15 en centros gestores de residuos y 2 en la industria.
Todas estas instalaciones autoconsumen biogás o generan electricidad excepto la planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos de Valdemingómez (Madrid), la única que también inyecta gas a la red.

# 3. Opciones de desarrollo

Autoconsumo SMALLBIOGAS

Mini plantas de Biogas Asociadas a Procesos Productivos para Autoconsumo de Energía:

Sistema definido en función del residuo y de las necesidades energéticas del cliente.

Muy adaptado al modelo de Empresa de Servicios Energéticos.

Gestión de residuos

Plantas de biogás industriales con alta capacidad para gestionar residuos, incluso de terceros.

Proyectos de Biometano en Promoción

Sistema definido en función del ecosistema industrial que aproveche subproductos ($CO_2$, GNC, GNL, inyección, etc). Mayores inversiones y complejidad en los procesos.

+ COMBINACIÓN DE LAS OPCIONES

# a) Autoconsumo de energía térmica

Fuente: ATSUU

A partir de fuentes que aprovechan el biogás como combustible:

CALDERA DE BIOGÁS

RECUPERACIÓN TÉRMICA MOTOR COGENERACIÓN

Fuente: GE

## Tipo energía térmica

Agua caliente

Agua sobrecalentada

Vapor de agua

## Usos posibles energía térmica

Mantenimiento proceso anaerobio en el digestor

Pretratamientos asociados a la digestión (pasteurización, esterilización, etc.)

Calefacción de las instalaciones

Procesos

# b) Autoconsumo de energía eléctrica

A partir de fuentes que aprovechan el biogás como combustible:

MOTOR COGENERACIÓN

Consumidores

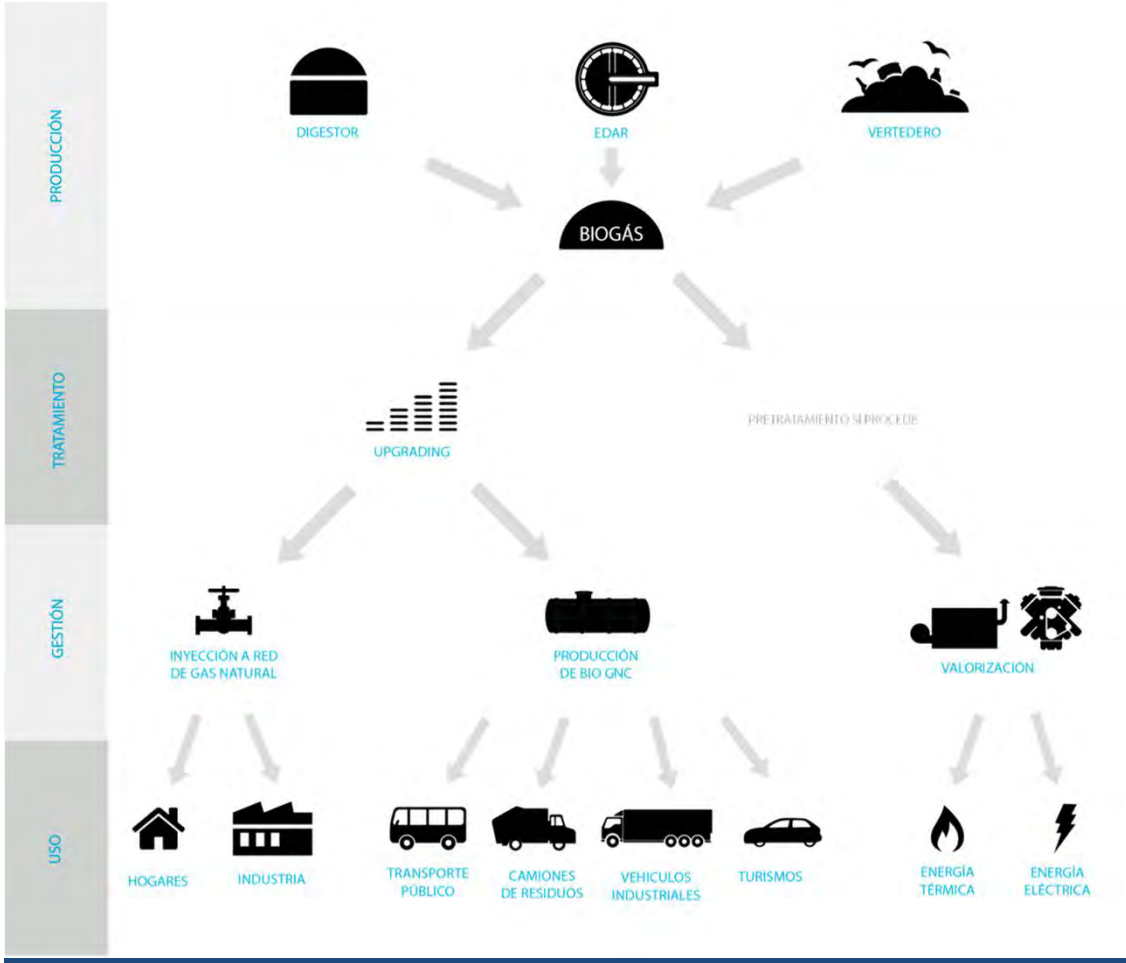
Planta de digestión anaerobia

Proceso industrial /planta existente

Otros – Autoconsumo compartido

ALTERNATIVA: VENTA DE ELECTRICIDAD

# c) Upgrading: producción de biometano




## ¿Qué es el biometano?

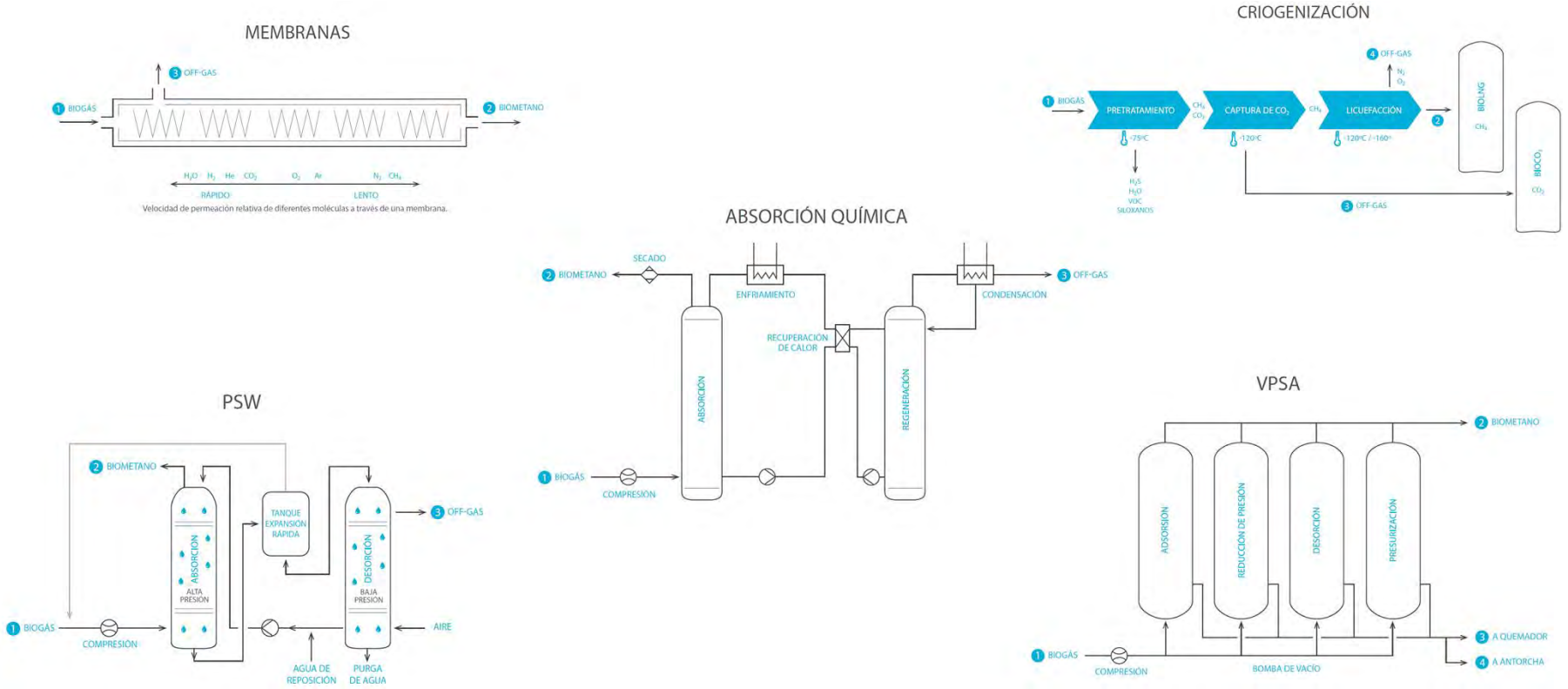
Es la alternativa renovable al gas natural cuando las propiedades del gas se consideran equivalentes (>90% $CH_4$ y poder calorífico similar, entre otros).

## ¿Cómo se consigue?

El biogás debe someterse a un proceso de purificación. Este proceso consiste el eliminar el dióxido de carbono en su composición, de manera que aumente el porcentaje de gas metano.

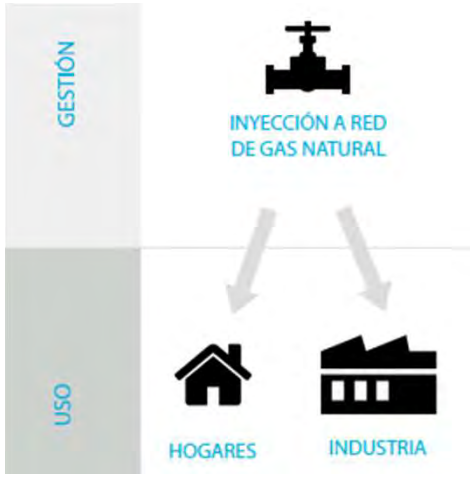
# c) Upgrading: producción de biometano

Las principales técnicas de purificación del biogás para la obtención de biometano son:



# i) Biometano para inyección a red

Ejemplo instalaciones:



Planta de Upgrading por Membranas en Holanda

Planta de Upgrading por Aminas en Dinamarca

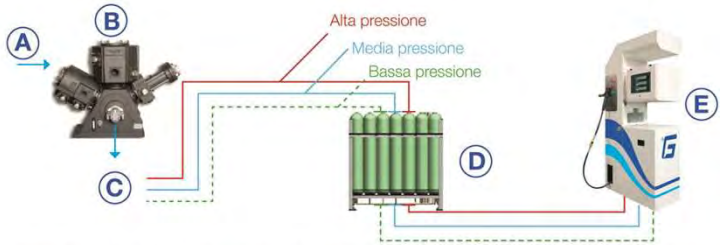
Vista aérea planta de biometano para inyección a red de Valdemingomez, Madrid

# i) Biometano como combustible vehicular

## COMPRESORES

Elevan la presión de salida del sistema de Upgrading hasta la **presión de almacenamiento (250-300 mbar)**

Fuente: Safe

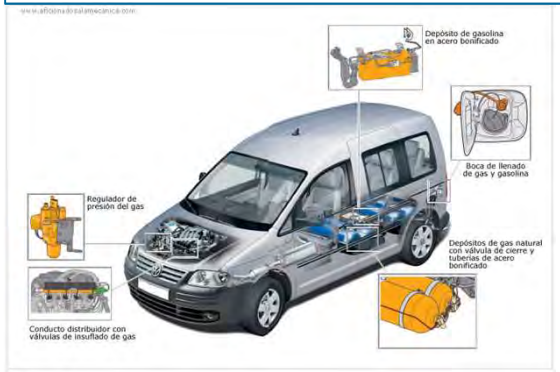



A - Aspirazione Gas | B - Compressore | C - Pannello di priorità | D - Stoccaggio | E - Erogatore

Fuente: Fornovogaz

## TIPO DE VEHÍCULOS

Todo tipo: Coches, furgonetas, camiones, autobuses…




## ALMACENAMIENTO

Configuración horizontal, vertical, en container, en racks…

Fuente: Bauer Kompressors

## SURTIDORES

De manguera simple, doble, boquillas NGV1, NGV2, con display…

Fuente: Censtar

# 4. Beneficios medioambientales

- Gestión eficiente de los residuos
- Reducción de las emisiones de CH4 y de CO2
- Generación energía a partir de fuentes renovables
- Sustituye a los combustibles fósiles
- Proporciona energía en zonas remotas o aisladas
- Permite la generación de fertilizantes de alta calidad

# 5. Ejemplos / Casos tipo

Planta de Biogás Industria Azucarera
“ASTARTA” en UCRANIA

Detalles técnicos
Biogás producido: 7.000 m³/hora
Demanda cubierta: 75% energía requerida para el proceso de producción de azúcar.
Energía térmica: 39 MW (8000 h/año)
Dimensiones del tanque: - 4 x 6.200 m³ Digeridor - 2 x 3.100 m³ Post-digeridor

Inputs
Substrato: Pulpa de remolacha azucarera
Sistema de alimentación: 1.000 ton/día, continuo

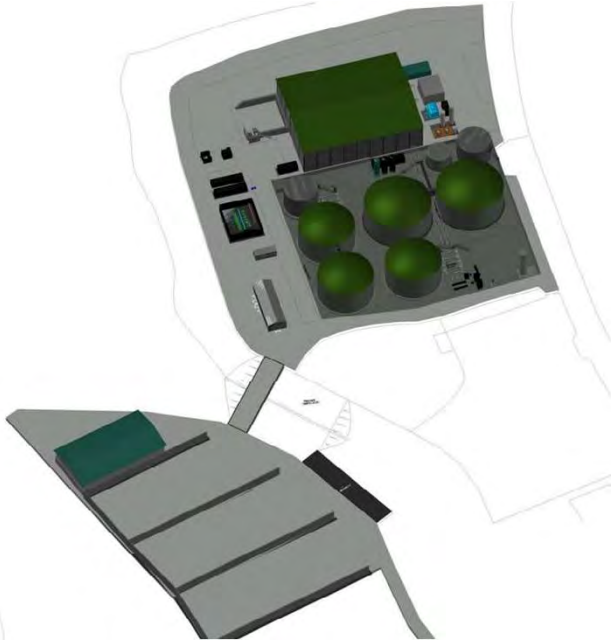
Outputs
Energía producida: 313.6 GWht/año
Rendimiento de metano: 56 Mm³/año
Digerido utilizado en campos propios como fertilizante

# 5. Ejemplos / Casos tipo

**Evercreech, Reino Unido**

*Waste to Energy Concept & Tratamiento y Gestión* Digerido *Líquido*

*Ingeniería realizada.*



Detalles técnicos

Biogas producido: 2.700m³ de biogás/hora

Dimensiones del tanque:

2 digestores 24m diámetro 10 altura

3 de 20m diámetro 10 altura

2 turbotanks 12m diámetro 9m altura

Inputs

Substrato: residuo agrícola y residuo industrial de diversa procedencia

Sistema de alimentación:

- 500 ton/día de residuo agrícola
- 380 ton/día de residuo urbano

Outputs

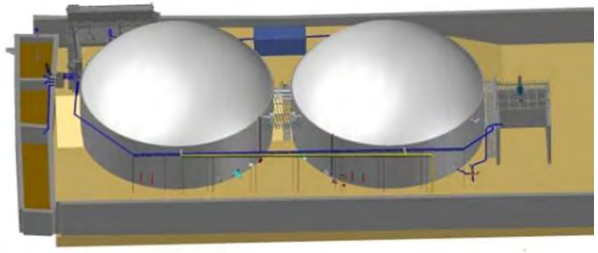
Energía producida:

- Inyección a red 830 m³/hora de biometano = 77,6 GWh año
- 3 motores de 1MWe cada uno = 25,5 GWh eléctricos por año

Tratamiento y Gestión de 70,000 m³/año de digerido líquido con vertidos a cauce

# 5. Ejemplos / Casos tipo

Planta de SMALL BIOGÁS en Granja Vacuno de Leche
(Hebrón, Palestina) AGROPAL
*En funcionamiento*



### Detalles técnicos

Biogás producido: 300 $m^3$/hora
Potencia: Motor eléctrico: 375 kWe (8400 h/año)
Aspectos innovadores: Relación de carga orgánica: OLR = 4’8

### Inputs

Materia prima: Estiércol de ganado con paja y residuos verdes
Sistema de alimentación: 70 ton/día

### Outputs

Energía eléctrica producida: 3,1 GWhe/año
Energía térmica producida: 3 GWht/año
Rendimiento de metano: 1,5 Mm3/año
Digerido utilizado en campos propios que reduce los costes de fertilización

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Genia global energy

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# El biogás en España

**Luis Alberto Sebastián**

1 C/ Luis García Berlanga 11 - Oficina 01 46023 Valencia (Spain) - lasebastian@geniaglobal.com

**Resumen:** BIOGÁS PARA AUTOCONSUMO: UNA ENERGÍA SOSTENIBLE CON PLENA DISPONIBILIDAD
El biogás es la única energía renovable que puede usarse para cualquiera de las grandes aplicaciones energéticas: eléctrica, térmica o combustible vehicular. Además, es la única energía renovable capaz de producir electricidad cuando se necesita, independientemente de las condiciones de viento o insolación.

Para producir biogás puede utilizarse cualquier residuo orgánico, como grasa, féculas, harinas, jarabes, restos cárnicos, estiércol, purines, residuos de hortalizas y vegetales, residuos cerveceros y de destilerías, lodos de depuradoras o residuos urbanos orgánicos. Es una tecnología que puede ser viable incluso a pequeña escala para la industria alimentaria, las explotaciones agrícolas y ganaderas, depuradoras y plantas de residuos municipales.

**Palabras clave:** biogás.

## 1. TEXTO PRINCIPAL

BIOGÁS PARA AUTOCONSUMO: UNA ENERGÍA SOSTENIBLE CON PLENA DISPONIBILIDAD

El biogás es la única energía renovable que puede usarse para cualquiera de las grandes aplicaciones energéticas: eléctrica, térmica o combustible vehicular. Además, es la única energía renovable capaz de producir electricidad cuando se necesita, independientemente de las condiciones de viento o insolación.

Para producir biogás puede utilizarse cualquier residuo orgánico, como grasa, féculas, harinas, jarabes, restos cárnicos, estiércol, purines, residuos de hortalizas y vegetales, residuos cerveceros y de destilerías, lodos de depuradoras o residuos urbanos orgánicos. Es una tecnología que puede ser viable incluso a pequeña escala para la industria alimentaria, las explotaciones agrícolas y ganaderas, depuradoras y plantas de residuos municipales.

Así pues, la cantidad de residuo disponible y, sobre todo, la logística de la recogida y abastecimiento determinarán tanto el tipo de energía como el destino de esta. Para pequeñas plantas de biogás el autoconsumo térmico es la solución económicamente más viable y sencilla, en grandes plantas el uso del biogás se deberá analizar según el escenario.

Gas Natural estimaba el potencial del biogás en España en 20.000GWh/año, una cantidad nada desdeñable, especialmente por su disponibilidad y almacenamiento y por su contribución medioambiental. Se trata de una tecnología madura y lista para su uso comercial que, sin embargo, primero compitió contra el mayor apoyo a la energía fotovoltaica y después con regulaciones restrictivas al autoconsumo energético, circunstancias que estancaron su implantación en España durante casi una década. En consecuencia, nuestro país apenas cuenta con medio centenar de plantas de producción de biogás, menos que Portugal, lejos de las más de 1.600 instalaciones de un país comparable como Italia y a años luz de las más de 8.000 plantas de Alemania. En toda Europa son más de 17.000 instalaciones.

La ventaja del biogás es que consigue obtener valor económico de los residuos orgánicos, que pasan de ser un coste y una complicación, a obtener un valor económico de ellos. Además, es un

importante paso en la sostenibilidad de la actividad agrícola, ganadera o de industria alimentaria, pues consigue energía de fuentes sostenibles y de muy bajas emisiones que reducen su impacto ambiental y su huella de carbono acercándolas a la economía circular.

La digestión anaerobia

El biogás se produce a partir de la fermentación de la biomasa en ausencia de oxígeno o digestión anaeróbica. Esta digestión se produce en cuatro etapas consecutivas. En cada una de ellas intervienen diferentes tipos de bacterias en la degradación del sustrato.

En la primera fase de hidrólisis los grandes polímeros orgánicos como carbohidratos, grasas y proteínas se dividen en componentes más pequeños como simples azúcares, aminoácidos, ácidos grasos y agua.

La siguiente división de los componentes es la acidogénesis, donde el digestato se convierte en ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, CO2, hidrógeno y amoniaco.

En la tercera fase o acetogénesis se forman los ácidos orgánicos.

Por último, tiene lugar la metanogénesis, en la que se forma el metano (biogás). El contenido de metano puede variar entre un 50% y un 75% en función del sustrato utilizado. Además de metano se producen CO2 y pequeñas proporciones de otros gases.

Los diferentes tipos de bacterias se caracterizan por diferentes velocidades de crecimiento y diferente sensibilidad a cada compuesto intermedio como inhibidor (p.e., H2, ácido acético o amoníaco producido en la acidogénesis de aminoácidos). Esto implica que cada etapa presentará diferentes velocidades de reacción según la composición del sustrato y que el desarrollo estable del proceso global requerirá de un equilibrio que evite la acumulación de compuestos intermedios inhibidores o la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV), que podría producir una bajada del pH. Para la estabilidad del pH es importante el equilibrio CO2-bicarbonato.

Para hacer posible algunas reacciones es necesaria la asociación sintrófica entre bacterias acetogénicas y metanogénicas, creando agregados de bacterias de estas diferentes poblaciones. Esto implica que las puestas en marcha de los reactores sean, en general, procesos relativamente lentos.

En general, la velocidad del proceso está limitada por la velocidad de la etapa limitante, la cual depende de la composición de cada residuo. Para sustratos solubles, la fase limitante acostumbra a ser la metanogénesis, y para aumentar la velocidad la estrategia consiste en adoptar diseños que permitan una elevada concentración de microorganismos acetogénicos y metanogénicos en el reactor.

El proceso reacciona sensiblemente a los cambios (input, pH, etc.) y ciertas inhibiciones pueden alterarlo fácilmente (desinfectantes, oxígeno, sulfuro, metales pesados, concentraciones demasiado altas de ácidos). Por lo tanto, la temperatura del fermentador debe mantenerse dentro de un intervalo determinado con el fin de evitar la muerte de la bacteria.

Preparación y acondicionado del gas

El gas obtenido en estas instalaciones puede tenar varios usos:

La producción de calor, muy necesaria en la mayoría de los procesos de la industria alimentaria, mediante su quema en caldera, para lo que se puede utilizar el gas tal y como resulta del proceso de biodigestión.

La utilización mixta de calor y electricidad, mediante su combustión en un motor CHP (combined heat and power), en este caso es conveniente realizar un proceso de secado del gas para proteger los motores. Durante el secado, el biogás es enfriado, generalmente mediante un refrigerador, en intercambiadores de calor y el agua condensada se separa del gas, llevando consigo el amoniaco.

El refinado o upgrading de biogás a biometano permite dos usos para el gas refinado:
la utilización de biogás como combustible de vehículos o la inyección a red.

El proceso de upgrading consiste en separar el metano y el CO2 para obtener un gas con una alta concentración de metano, existiendo diferentes métodos para conseguirlo. Además, el dióxido de carbono se puede valorizar como materia prima en la industria.

El uso inmediato del biometano es la inyección a red, pero para ello es necesario encontrar puntos donde la red admita el caudal generado y donde las condiciones de inyección sean propicias. No obstante, siempre existe la posibilidad de usarlo como combustible vehicular, opción muy interesante cuando existe una flota cautiva como en sistemas de gestión de RSU o empresas agroalimentarias con distribución de mercancías.

En cualquier caso, el resultado es una importante reducción de costes energéticos para las instalaciones industriales o agropecuarias por autoconsumo o un ingreso en los casos en los que se genera excedente. Por añadidura, el residuo resultante del proceso es un abono líquido de un lado y compost por otro, de alta calidad y fácil asimilación por las plantas, que también tiene un valor económico.

Ventajas medioambientales
La producción de biogás consigue energía de fuentes sostenibles y de muy bajas emisiones. Para los sistemas agroalimentarios va a ser muy importante reducir la huella de carbono de su cadena de producción y el ciclo circular de la producción de energía para autoconsumo a partir de los propios desechos orgánicos se presenta como una solución eficaz y sostenible.

Dado que al quemar el metano se emite principalmente CO2, un potencial de calentamiento global 21 veces menor que el CH4 (metano) que se produce en la descomposición incontrolada de la materia orgánica, el aprovechamiento apropiado del biogás tiene un gran potencial para contribuir a reducir emisiones de gases de efecto invernadero.

Reduce el vertido de sustancia orgánica en vertederos y la contaminación asociada que conlleva, como malos olores, emisiones incontroladas de metano y transmisión de patógenos a suelo y aguas.

La implantación de esta tecnología podría suponer un importante incentivo para la economía rural, creando puestos de trabajos cualificados y dando valor a desechos orgánicos de la ganadería y agricultura de las áreas cercanas.

La instalación y gestión de una planta de biogás
La tecnología del biogás se considera viable en instalaciones que producen a partir de 3Tm de residuos orgánicos cada día.

Uno de los aspectos más importantes es que la planta esté perfectamente dimensionada para las características y la cantidad de la producción del sustrato orgánico que la va a alimentar. Esto va a garantizar el buen funcionamiento de la planta, pero también va a permitir ajustar la inversión y acelerar al máximo el periodo de amortización. Esta es precisamente la clave de la tecnología Small Biogás de Genia Global Energy, implantada en instalaciones que van desde granjas de vacuno a industrias azucareras o plantas de tratamiento de residuos por toda Europa

La amortización de una planta de este tipo suele darse a partir del quinto año de funcionamiento, pasando a ser a partir de entonces una fuente más de ingresos para el negocio.

Desde el periodo de estudios previos hasta la construcción y puesta en marcha de una planta pueden pasar en torno a x meses, por lo que conviene contar con una ingeniería con experiencia en todo el proceso para optimizar los tiempos.

En cuanto a los rendimientos, una granja de 100 vacas lecheras podría producir hasta 238 MWh de electricidad a partir del estiércol que genera el ganado (con un valor de unos 70.000 €) o hasta 360MWh de energía térmica, más o menos el rendimiento que se obtendría de los purines de 2.000 cerdos.

Aplicado a la industria alimentaria, con 600Tm de pulpa exhausta de remolacha se podrían producir hasta 527MWh de electricidad o 800MWh de energía térmica, una industria conservera que produzca cada año 3.000Tm de pieles de tomate podría llegar a las 908MWh de energía eléctrica o 1376MWh en calor.

La producción de biogás es una alternativa energética sostenible real para las industrias que producen gran cantidad de residuos orgánicos. La industria se beneficiará de la reducción de costes en la gestión de los residuos, del valor en forma de MWh y fertilizantes que obtendrá de esos desechos y de la reducción de su huella ecológica al utilizar energía renovable y que contribuye a reducir el efecto invernadero.

## 2. AGRADECIMIENTOS

## 3. REFERENCIAS

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

12:30 - 14:30

**SESIÓN 2 Track B. ENERGÍAS RENOVABLES y SMART GRIDS**

Modera: Eugenia Sillero **GASNAM**

"El biogás en España" **Luis Alberto Sebastián González.** Technical Director **GENIA BIOENERGY**

"Inyección de biometano en la red de gas natural vs compostaje y producción de biogás: un análisis de factores para toma de decisiones" **Montserrat Zamorano Toro.** Responsable Innovación **UNIVERSIDAD DE GRANADA (UGR)**

"Caso de éxito de simuladores para la recuperación de tensión en islas eléctricas. Bases para el digital twin de centrales eléctricas" **Patricia Romero.** Ingeniero de Operación, Responsable Comercial Área Simulación. **TECNATOM**

"Peak-Shaving Application with Energy Storage Systems in Microgrids" **Manuel García Plaza.** Control Algorithms Manager **SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# INYECCIÓN DE BIOMETANO EN LA RED DE GAS NATURAL VS COMPOSTAJE Y PRODUCCIÓN DE BIOGAS: UN ANÁLISIS DE FACTORES PARA TOMA DE DECISIONES

Montserrat Zamorano Toro

proma

Spin-Off

aee The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice


1 MOTIVACIÓN

2 OBJETIVOS

3 METODOLOGÍA EMPLEADA

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5 CONCLUSIONES

# Motivación

# Motivación

## GEI

322 $MtCO_2$ (2013)

↓

14 - 88 $MtCO_2$

(*Amores et al., 2016*)

# Motivación

## GEI

322 $MtCO_2$ (2013)

↓

14 - 88 $MtCO_2$

(*Amores et al., 2016*)

## RSU

2016 España generó 21,5 millones de toneladas de residuos municipales (*MITECO, 2016*)

**57,3%** **37%**

# Motivación

## GEI

322 $MtCO_2$ (2013)

↓

14 - 88 $MtCO_2$

(*Amores et al., 2016*)

## RSU

2016 España generó 21,5 millones de toneladas de residuos municipales (*MITECO, 2016*)

**57,3%** **37%**

Paulatina transición del modelo energético:

- Descarbonización eficiente
- Mantener seguridad de suministro
- Competitividad

↓

**Producción** **Consumo** **Ef. energética** **F. renovables**

# Motivación

## GEI

322 $MtCO_2$ (2013)

↓

14 - 88 $MtCO_2$

(*Amores et al., 2016*)

## RSU

2016 España generó 21,5 millones de toneladas de residuos municipales (*MITECO, 2016*)

**57,3%**

**37%**

**PROCESO AEROBIO**

**PROCESO ANAEROBIO**

Paulatina transición del modelo energético:

- Descarbonización eficiente
- Mantener seguridad de suministro
- Competitividad

↓

**Producción** **Consumo** **Ef. energética** **F. renovables**

# Motivación

## GEI

322 $MtCO_2$ (2013)

14 - 8 $MtCO_2$

(*Amores et al., 2016*)

## RSU

2016 España generó 21,5 millones de toneladas de residuos municipales (*MITECO, 2016*)

57,3%

37%

€

Paulatina transición del modelo energético:

- Descarbonización eficiente
- Mantener seguridad de suministro
- Competitividad

**Producción** **Consumo** **Ef. energética** **F. renovables**

PROCESO AEROBIO

PROCESO **ANAEROBIO**

# Motivación

- Emisiones $CO_2$

(Budinis et al ., 2016; Dodds y McDowall, 2013; McGlade et al., 2016)

# Motivación

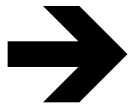
GAS

- Emisiones $CO_2$

(Budinis et al ., 2016; Dodds y McDowall, 2013; McGlade et al., 2016)

- Menor contenido en C
- Posible uso en plantas ciclo combinado
- Gran flexibilidad usos

(Miller, 2013; Speirs et al., 2018).



# Motivación

- Emisiones $CO_2$

(Budinis et al ., 2016; Dodds y McDowall, 2013; McGlade et al., 2016)

- Menor contenido en C
- Posible uso en plantas ciclo combinado
- Gran flexibilidad usos

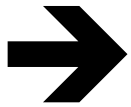
(Miller, 2013; Speirs et al., 2018).

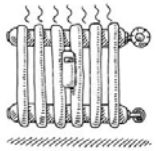
# Motivación

- Emisiones $CO_2$

(Budinis et al ., 2016; Dodds y McDowall, 2013; McGlade et al., 2016)

- Menor contenido en C
- Posible uso en plantas ciclo combinado
- Gran flexibilidad usos
  (Miller, 2013; Speirs et al., 2018).





# Motivación

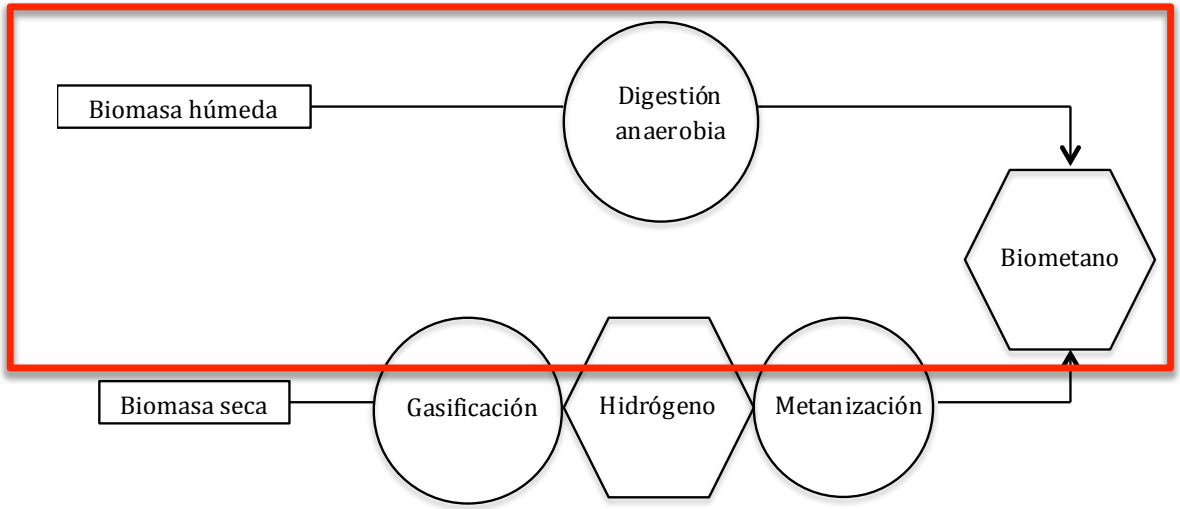
- Emisiones $CO_2$

(Budinis et al ., 2016; Dodds y McDowall, 2013; McGlade et al., 2016)

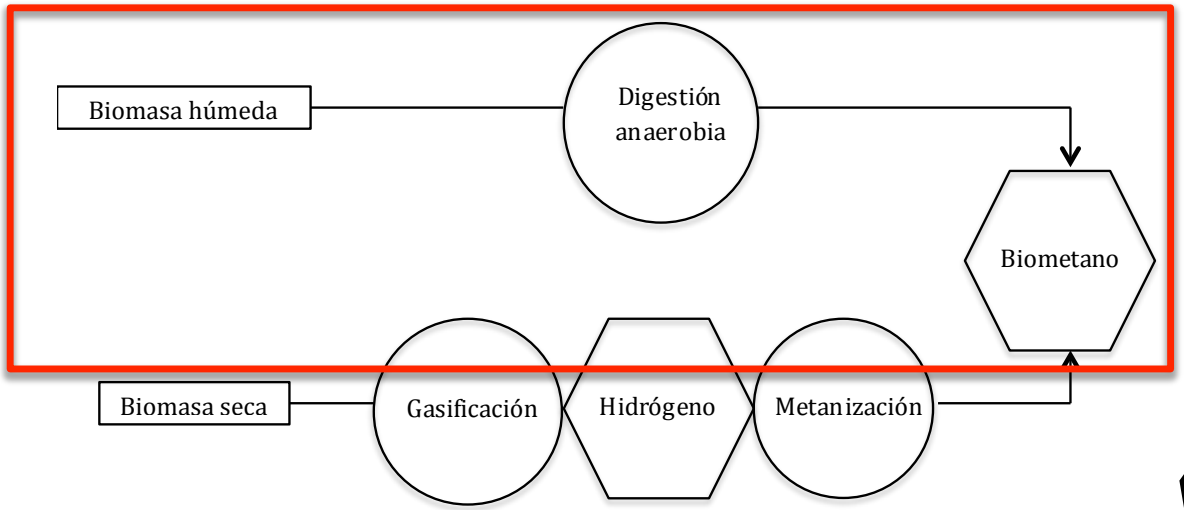
- Menor contenido en C
- Posible uso en plantas ciclo combinado
- Gran flexibilidad usos (Miller, 2013; Speirs et al., 2018).

Sustitución de gas natural por **BIOMETANO**

# Motivación


Biomasa húmeda
Digestión anaerobia
Biometano
Biomasa seca
Gasificación
Hidrógeno
Metanización

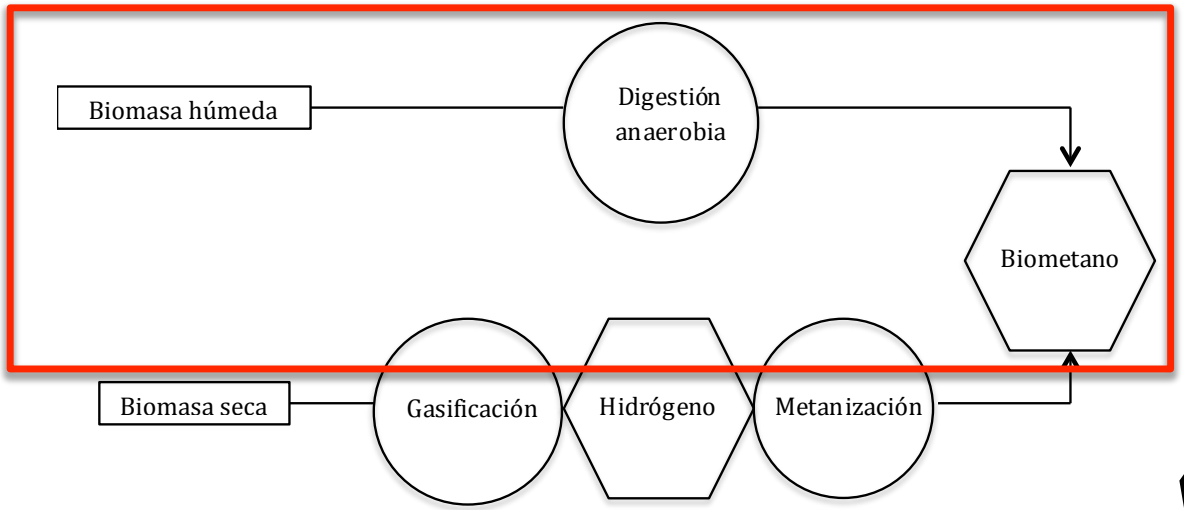
# Motivación




La digestión anaeróbica es el proceso de conversión de residuos orgánicos en un **biogás** compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono en un rango de 50-70% y 30-50% respectivamente

Combustible para calderas y generadores eléctricos para producir energía y calor

# Motivación

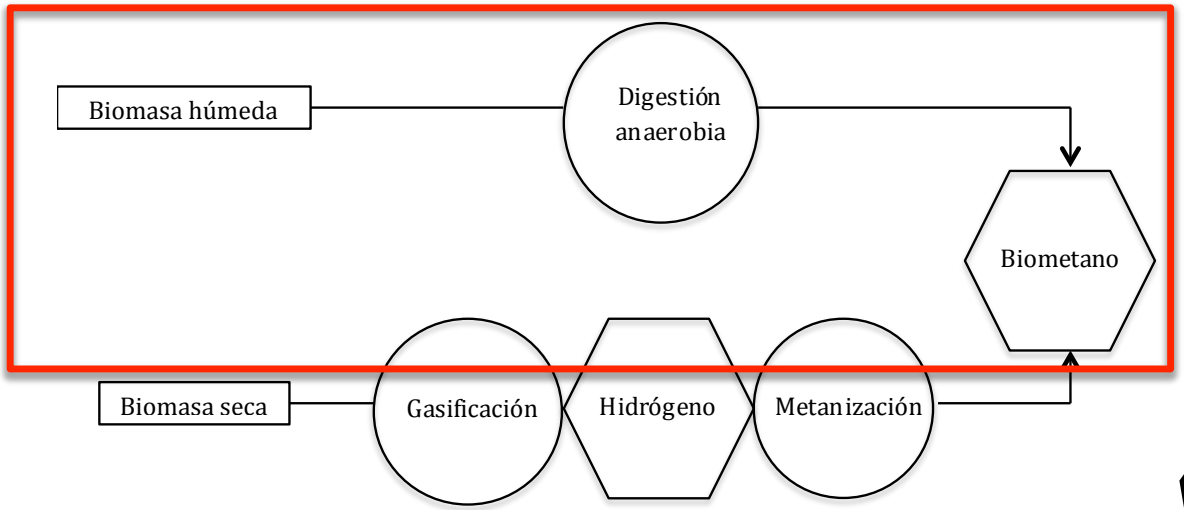



La digestión anaeróbica es el proceso de conversión de residuos orgánicos en un **biogás** compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono en un rango de 50-70% y 30-50% respectivamente

Combustible para calderas y generadores eléctricos para producir energía y calor

Producir **biometano (gas verde)** mediante una purificación para aumentar el contenido de metano hasta el 95% y reducir el de dióxido de carbono a tan sólo el solo el 2% *(Cucchiella et al., 2018)*

# Motivación




La digestión anaeróbica es el proceso de conversión de residuos orgánicos en un **biogás** compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono en un rango de 50-70% y 30-50% respectivamente

Combustible para calderas y generadores eléctricos para producir energía y calor

Producir **biometano (gas verde)** mediante una purificación para aumentar el contenido de metano hasta el 95% y reducir el de dióxido de carbono a tan sólo el solo el 2% *(Cucchiella et al., 2018)*

# Motivación

# Motivación

**Directiva 2003/55/CE y Directiva 2009/73/CE sobre normas comunes para el mercado interior del gas natural**

Definieron los objetivos para el suministro de energía renovable en el transporte que deben cumplir todos los Estados miembros, en los que el biometano, u otros tipos de gas, deberá ser tratado de forma no discriminatoria siempre y cuando resulte técnicamente posible y segura su inyección y transporte en la red de gas natural.

Existencia de un estándar europeo y, en teoría, un mercado europeo para el biometano que facilitado su inyección en redes de países países como los Países Bajos, Austria, Suiza, Suecia y Alemania (*BNetzA, 2011; Bowe, 2013*).

Todavía su uso no es competitivo frente al gas natural (*BNetzA, 2011*), aunque la necesidad de impulsar el uso de energía renovables va a impulsar el uso del biometano en los próximos años.

# Objetivos

Se comienza ya a visualizar el biometano como una alternativa al gas natural:

- Nuestro país se encuentra a la cabeza de la Unión Europea en infraestructuras y capacidad de almacenamiento de gas natural licuado, siendo el país europeo con mayor número de plantas de regasificación.
- Por su situación geoestratégica, tiene un importante potencial para desarrollar el mercado de gas natural licuado orientado al suministro de este combustible en el transporte marítimo (*Amores et al., 2016*).

# Objetivos

Se comienza ya a visualizar el biometano como una alternativa al gas natural:

- Nuestro país se encuentra a la cabeza de la Unión Europea en infraestructuras y capacidad de almacenamiento de gas natural licuado, siendo el país europeo con mayor número de plantas de regasificación.
- Por su situación geoestratégica, tiene un importante potencial para desarrollar el mercado de gas natural licuado orientado al suministro de este combustible en el transporte marítimo (*Amores et al., 2016*).

Impulsar la utilización de las infraestructuras de gas natural para el transporte de gases verdes gracias a la puesta en marcha de un conjunto de puntos de producción localizados en los lugares de generación de residuos y dispersos por toda la geografía.

# Objetivos

Se comienza ya a visualizar el biometano como una alternativa al gas natural:

- Nuestro país se encuentra a la cabeza de la Unión Europea en infraestructuras y capacidad de almacenamiento de gas natural licuado, siendo el país europeo con mayor número de plantas de regasificación.
- Por su situación geoestratégica, tiene un importante potencial para desarrollar el mercado de gas natural licuado orientado al suministro de este combustible en el transporte marítimo (*Amores et al., 2016*).

Impulsar la utilización de las infraestructuras de gas natural para el transporte de gases verdes gracias a la puesta en marcha de un conjunto de puntos de producción localizados en los lugares de generación de residuos y dispersos por toda la geografía.

- Facilitará la creación de una red estable, eficiente y flexible
- Estimulará la economía local
- Facilitará el cierre de los ciclos locales de nutrientes y el fomento la economía del reciclaje
- Se reducirá el consumo de recursos naturales
- Se reducirán las emisiones de GEI.

# Objetivos

El objetivo de este trabajo ha sido realizar un estudio sobre la viabilidad para la producción de biometano a partir de la fracción orgánica de los residuos municipales (FORM) para su inyección en redes de gas natural, en comparación con los tratamientos aplicados tradicionalmente a esta fracción.

# Metodología de trabajo aplicada

## Metodología

Escenarios analizados

Análisis DAFO + Panel expertos + AHP

# Metodología de trabajo aplicada

## Metodología

Escenarios analizados

Análisis DAFO + Panel expertos + AHP

**Escenario 1**
*Estabilización aerobia para obtención de compost*

**Escenario 2**
*Biometanización para producción de electricidad*

**Escenario 3**
*Biometanización para producción de biometano y su inyección en redes de gas natural*

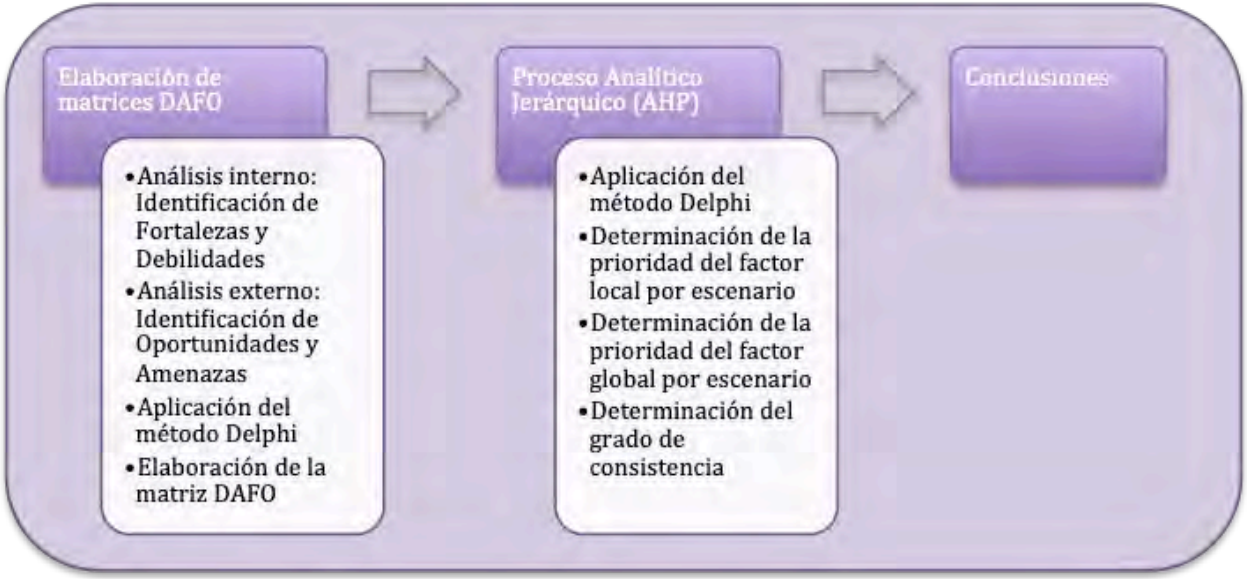
**Fracción orgánica de residuos municipales**

# Metodología de trabajo aplicada

## Metodología

Escenarios analizados

Análisis DAFO + Panel expertos + AHP

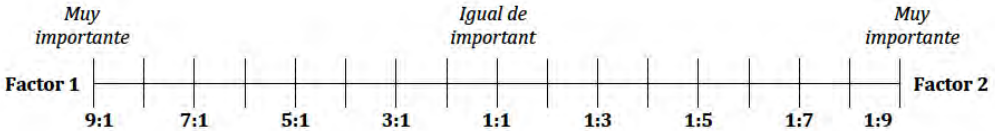


# Metodología de trabajo aplicada

## Metodología

Escenarios analizados

Análisis DAFO + Panel expertos + AHP




*Escala para comparaciones por pares en AHP*

$$A = (a_{ij})_{i,i=1,\dots 5} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} \end{pmatrix}$$

Matriz original tipo $A$ para cada categoría

# Metodología de trabajo aplicada

## Metodología

Escenarios analizados

Análisis DAFO + Panel expertos + AHP

$$\hat{A} = (\hat{a}_{ij})_{i,j=1,\dots,5} = \begin{pmatrix} \hat{a}_{11} & \hat{a}_{12} & \hat{a}_{13} & \hat{a}_{14} & \hat{a}_{15} \\ \hat{a}_{21} & \hat{a}_{22} & \hat{a}_{23} & \hat{a}_{24} & \hat{a}_{25} \\ \hat{a}_{31} & \hat{a}_{32} & \hat{a}_{33} & \hat{a}_{34} & \hat{a}_{35} \\ \hat{a}_{41} & \hat{a}_{42} & \hat{a}_{43} & \hat{a}_{44} & \hat{a}_{45} \\ \hat{a}_{51} & \hat{a}_{52} & \hat{a}_{53} & \hat{a}_{54} & \hat{a}_{55} \end{pmatrix} \text{ donde } \hat{a}_{ij} = \begin{cases} 1 & si\ i = j \\ a_{ij} & si\ i < j \\ 1/a_{ij} & si\ i > j \end{cases}$$

$$\downarrow$$

$$\hat{A} = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & a_{34} & a_{35} \\ 1/a_{14} & 1/a_{24} & 1/a_{34} & 1 & a_{45} \\ 1/a_{15} & 1/a_{25} & 1/a_{35} & 1/a_{45} & 1 \end{pmatrix}$$

Matriz de comparación tipo ($\hat{A}$) para cada categoría y escenario

$$\hat{A}_n = \left(\frac{\hat{a}_{ij}}{\sum_{k=1}^{5} \hat{a}_{kj}}\right)_{i,j=1,\dots,5} = \begin{pmatrix} \frac{1}{c_1} & \frac{a_{12}}{c_2} & \frac{a_{13}}{c_3} & \frac{a_{14}}{c_4} & \frac{a_{15}}{c_5} \\ \frac{1/a_{12}}{c_1} & \frac{1}{c_2} & \frac{a_{23}}{c_3} & \frac{a_{24}}{c_4} & \frac{a_{25}}{c_5} \\ \frac{1/a_{13}}{c_1} & \frac{1/a_{23}}{c_2} & \frac{1}{c_3} & \frac{a_{34}}{c_4} & \frac{a_{35}}{c_5} \\ \frac{1/a_{14}}{c_1} & \frac{1/a_{24}}{c_2} & \frac{1/a_{34}}{c_3} & \frac{1}{c_4} & \frac{a_{45}}{c_5} \\ \frac{1/a_{15}}{c_1} & \frac{1/a_{25}}{c_2} & \frac{1/a_{35}}{c_3} & \frac{1/a_{45}}{c_4} & \frac{1}{c_5} \end{pmatrix}$$

Matriz de comparación normalizada ($\hat{A}_n$) tipo para cada categoría y escenario

# Metodología de trabajo aplicada

## Metodología

Escenarios analizados

Análisis DAFO + Panel expertos + AHP

$$V_p = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \end{pmatrix} \quad \text{donde } v_j = \frac{1}{5} \times \sum_{i=1}^{5} \frac{\hat{a}_{ji}}{c_i}$$

Vector promedio ($V_p$) tipo para cada categoría y escenario. Determinación de la prioridad local

$$W_F = \frac{\sum_{m=a}^{e} F_m}{\sum_{m=a}^{e} F_m + \sum_{m=a}^{e} D_m + \sum_{m=a}^{e} O_m + \sum_{m=a}^{e} A_m}$$

$$W_D = \frac{\sum_{m=a}^{e} D_m}{\sum_{m=a}^{e} F_m + \sum_{m=a}^{e} D_m + \sum_{m=a}^{e} O_m + \sum_{m=a}^{e} A_m}$$

$$W_O = \frac{\sum_{m=a}^{e} O_m}{\sum_{m=a}^{e} F_m + \sum_{m=a}^{e} D_m + \sum_{m=a}^{e} O_m + \sum_{m=a}^{e} A_m}$$

$$W_A = \frac{\sum_{m=a}^{e} A_m}{\sum_{m=a}^{e} F_m + \sum_{m=a}^{e} D_m + \sum_{m=a}^{e} O_m + \sum_{m=a}^{e} A_m}$$

$$P_{G_m} = W_G \times v_{l_l}$$

**Prioridad del factor global por cada factor**

# Metodología de trabajo aplicada

## Metodología

Escenarios analizados

Análisis DAFO + Panel expertos + AHP

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

*Relación de Consistencia*

$$IC = \frac{n_{max} - n}{n - 1}$$

Índice de Consistencia

$$IA = \frac{1{,}98 \times (n-2)}{n}$$

Índice de Consistencia Aleatoria

$RC \leq 0{,}10$ *Consistencia razonable*

$RC > 0{,}10$ *Inconsistencia*

DAFO+PE+AHP

Panel de expertos

DAFO

AHP

# Resultados y discusión

DAFO+PE+AHP

Panel de expertos

DAFO

AHP

# Resultados y discusión

| Categoría | | Encuestas enviadas | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Número | Porcentaje (%) | |
| | | | Por categoría | Sobre total |
| Académicos e investigadores | Nacionales | 7 | 11.7 | 5.4 |
| | Internacionales | 53 | 88.3 | 41.1 |
| | Total | 60 | | 46.5 |
| Operadores de plantas de tratamiento | Nacionales | 25 | 44.6 | 19.4 |
| | Internacionales | 31 | 55.4 | 24.0 |
| | Total | 56 | | 43.4 |
| Gestores energéticos y responsables de políticas regionales | Nacionales | 7 | 53.8 | 5.4 |
| | Internacionales | 6 | 46.2 | 4.7 |
| | Total | 13 | | 10.1 |
| Total | | 129 | | |

DAFO+PE+AHP

Panel de expertos

DAFO

AHP

# Resultados y discusión

**ANALISIS INTERNO**

| | | Potenciales factores | Referencias | Valor medio | Seleccionado |
|---|---|---|---|---|---|
| Fortalezas | $F_1$ | Fuente adicional de ingresos a través de las ventas de energía y/o el autosuministro de energía | Brudermann et al., 2015 | 7,3 | |
| | $F_2$ | La utilización de recursos disponibles como insumo para la obtención de energía renovable | Brudermann et al., 2015 | 8,4 | $F_a$ |
| | $F_3$ | Existe tecnología que permite la obtención de energía | Brudermann et al., 2015 | 8,3 | $F_b$ |
| | $F_4$ | Los operadores tienen un buen conocimiento de insumo | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 6,4 | |
| | $F_5$ | La titularidad pública de las instalaciones de residuos sólidos urbanos facilita la continuidad de suministro del insumo | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 6,7 | |
| | $F_6$ | La valorización energética de los residuos orgánicos es posible | Brudermann et al., 2015 | 8,5 | $F_c$ |
| | $F_7$ | Hay un beneficio económico y ecológico del uso de residuos orgánicos para la producción de biogás | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 8,4 | $F_d$ |
| | $F_8$ | El biogás es una tecnología madura de obtención de energía renovable | Hoo et al. 2018 | 7,8 | |
| | $F_9$ | Otros residuos de materia orgánica (residuos agrícolas, cultivos energéticos y residuos orgánicos industriales) puede ser usados junto con la fracción orgánica de los residuos municipales como co-insumo | Hoo et al. 2018 | 7,9 | $F_e$ |
| | $F_{10}$ | La tecnología permite adaptarse a las variaciones de la producción | CER, 2013 | 6,7 | |
| Debilidades | $D_1$ | Altos costos de inversión y operación | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 7,3 | $D_a$ |
| | $D_2$ | Bajos ingresos de las ventas de energía, que podrían no cubrir los costos | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 6,9 | $D_b$ |
| | $D_3$ | Disponibilidad limitada de materia orgánica municipal para la producción de insumo | Brudermann et al., 2015 | 5,2 | |
| | $D_4$ | Posible infrautilización de la capacidad de la planta, por ejemplo, debido a la falta de insumos | Brudermann et al., 2015 | 5,8 | $D_c$ |
| | $D_5$ | Posible falta de uso para el biogás generado | Brudermann et al., 2015 | 3,9 | |
| | $D_6$ | La falta de conocimientos tecnológicos o de experiencia de los operadores | Brudermann et al., 2015 | 5,1 | |
| | $D_7$ | La carga de trabajo para operar las plantas, a menudo, es subestimada por los operadores | Brudermann et al., 2015 | 5,2 | |
| | $D_8$ | Escasa implantación de estas tecnologías | Adaptado de Miltner et al. 2017 | 5,8 | $D_d$ |
| | $D_9$ | Distancia entre el punto de producción de biogás y el de uso | Adaptado de Speirs et al. 2018 | 6,5 | $D_e$ |
| | $D_{10}$ | Necesidad de adquirir otros insumos debido a la baja disponibilidad de materia orgánica | Adaptado de Miltner et al. 2017 | 5,1 | |

**ANALISIS EXTERNO**

| | | Potenciales factores | Referencias | Valor medio | Seleccionado |
|---|---|---|---|---|---|
| Oportunidades | $O_1$ | Efectos positivos sobre el cambio climático al favorecer el uso de energías renovables y reducir las emisiones de $CO_2$ | Brudermann et al., 2015 | 8,9 | $O_a$ |
| | $O_2$ | Busca reducir la dependencia de los combustibles fósiles | Brudermann et al., 2015 | 7,9 | $O_b$ |
| | $O_3$ | Reduce la dependencia de las importaciones energéticas lo que contribuye a la seguridad de suministro de energía | Brudermann et al., 2015 | 7,4 | |
| | $O_4$ | Suficiente cantidad de materia orgánica generada para garantizar una producción mínima de biogás | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 7,2 | |
| | $O_5$ | La política europea sobre economía circular favorece la implantación de esta tecnología | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 7,9 | $O_c$ |
| | $O_6$ | Polivalencia de biogás: se puede utilizar para generación de calor y electricidad y como combustible; es almacenable y puede contribuir a cubrir la demanda base o las puntas de consumo | Brudermann et al., 2015 | 7,9 | |
| | $O_7$ | Desarrollo de proyectos para áreas locales, incremento de la creación de valor a nivel regional y aumento de suministro de energía regional | Brudermann et al., 2015 | 8 | $O_d$ |
| | $O_8$ | Búsqueda de una mayor eficiencia y rentabilidad a través de la investigación y el desarrollo. | Brudermann et al., 2015 | 7,8 | |
| | $O_9$ | Descarbonización: Tiene un papel fundamental para lograr los objetivos europeos de eliminación del carbono en el mix energético. | Parkes, 2017 | 7,9 | $O_e$ |
| | $O_{10}$ | Favorece la creación de empleo | Adaptado de Smyth et al. 2010 | 6,9 | |
| Amenazas | $A_1$ | Las tarifas dependen de decisiones políticas | Brudermann et al., 2015 | 8,1 | $A_a$ |
| | $A_2$ | Posibles ayudas públicas dependientes de decisiones políticas | Brudermann et al., 2015 | 8 | $A_b$ |
| | $A_3$ | Variación de la composición de residuos municipales: Reducción de la cantidad de materia orgánica | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 6,6 | $A_c$ |
| | $A_4$ | Dilema autoabastecimiento energético – venta de energía | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 6,1 | |
| | $A_5$ | Dependencia de proveedores externos para la compra de otros insumos | Brudermann et al., 2015 | 5,8 | |
| | $A_6$ | Los requisitos legales, técnicos y de seguridad para el permiso, construcción y operación a menudo representan grandes obstáculos administrativos | Brudermann et al., 2015 | 7,1 | $A_d$ |
| | $A_7$ | Peligro potencial del biogás y/o biometano: es decir, reacción explosiva entre el aire y el biogás y biometano en una determinada concentración | Brudermann et al., 2015 | 4,8 | |
| | $A_8$ | Baja aceptación social: la población puede temer un impacto negativo en su calidad de vida | Brudermann et al., 2015 | 5,3 | |
| | $A_9$ | Los microorganismos producidos durante el proceso pueden suponer un riego para la salud humana y el medio ambiente | CER, 2013 | 3,3 | |
| | $A_{10}$ | Posibles cambios normativos en materia energética y/o de gestión de residuos | Adaptado de Smyth et al. 2010 | 7,1 | $A_e$ |

DAFO+PE+AHP

Panel de expertos

DAFO

AHP

# Resultados y discusión

**ANALISIS INTERNO**

| | | Potenciales factores | Referencias | Valor medio | Seleccionado |
|---|---|---|---|---|---|
| Fortalezas | $F_1$ | Fuente adicional de ingresos a través de las ventas de energía y/o el autosuministro de energía | Brudermann et al., 2015 | 7,3 | |
| | $F_2$ | La utilización de recursos disponibles como insumo para la obtención de energía renovable | Brudermann et al., 2015 | 8,4 | $F_a$ |
| | $F_3$ | Existe tecnología que permite la obtención de energía | Brudermann et al., 2015 | 8,3 | $F_b$ |
| | $F_4$ | Los operadores tienen un buen conocimiento de insumo | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 6,4 | |
| | $F_5$ | La titularidad pública de las instalaciones de residuos sólidos urbanos facilita la continuidad de suministro del insumo | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 6,7 | |
| | $F_6$ | La valorización energética de los residuos orgánicos es posible | Brudermann et al., | 8,5 | F |
| | $F_7$ | Hay un beneficio económico y ecológico del uso de residuos orgánicos para la producción | Adaptado de Brudermann et al., 15 | 8,4 | F |
| | $F_8$ | El biogás es una tecnología madura de obtención de energía | Hoo et al. 2018 | 7,8 | |
| | | Otros [illegible] de materia organica (residuos agrícolas, cultivos energéticos, residuos orgánicos industriales) pueden ser usados con la fracción orgánica de los residuos municipales como co-insumo | Hoo et al. 2018 | 7,9 | $F_e$ |
| | $F_{10}$ | La tecnología [illegible] adaptarse a las variaciones de la producción | CER, 2013 | 6,7 | |
| Debilidades | $D_1$ | Altos costos de inversión y operación | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 7,3 | $D_a$ |
| | $D_2$ | Bajos ingresos de las ventas de energía, que podrían no cubrir los costos | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 6,9 | $D_b$ |
| | $D_3$ | Disponibilidad limitada de materia orgánica municipal para la producción de insumo | Brudermann et al., 2015 | 5,2 | |
| | $D_4$ | Posible infrautilización de la capacidad de la planta, por ejemplo, debido a la falta de insumos | Brudermann et al., 2015 | 5,8 | $D_c$ |
| | $D_5$ | Posible falta de uso para el biogás generado | Brudermann et al., 2015 | 3,9 | |
| | $D_6$ | La falta de conocimientos tecnológicos o de experiencia de los operadores | Brudermann et al., 2015 | 5,1 | |
| | $D_7$ | La carga de trabajo para operar las plantas, a menudo, es subestimada por los operadores | Brudermann et al., 2015 | 5,2 | |
| | $D_8$ | Escasa implantación de estas tecnologías | Adaptado de Miltner et al. 2017 | 5,8 | $D_d$ |
| | $D_9$ | Distancia entre el punto de producción de biogás y el de uso | Adaptado de Speirs et al. 2018 | 6,5 | $D_e$ |
| | $D_{10}$ | Necesidad de adquirir otros insumos debido a la baja disponibilidad de materia orgánica | Adaptado de Miltner et al. 2017 | 5,1 | |

**ANALISIS EXTERNO**

| | | Potenciales factores | Referencias | Valor medio | Seleccionado |
|---|---|---|---|---|---|
| Oportunidades | $O_1$ | Efectos positivos sobre el cambio climático al favorecer el uso de energías renovables y reducir las emisiones de $CO_2$ | Brudermann et al., 2015 | 8,9 | $O_a$ |
| | $O_2$ | Busca reducir la dependencia de los combustibles fósiles | Brud[illegible] | [illegible] | $O_b$ |
| | $O_3$ | Reduce la dependencia de las importaciones energéticas lo que contribuye a la seguridad ener[illegible] | Brud[illegible] | 7,4 | |
| | $O_4$ | Sus[illegible] orgánica generada para garantizar una producción mínima de [illegible] | Adapt[illegible] de Brudermann et al., 2015 | [illegible] | |
| | $O_5$ | [illegible] política europea sobre economía circular ofrece la implantación de esta tecnología | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 7,9 | $O_c$ |
| | $O_6$ | Polivalencia del biogás: se puede utilizar para generación de calor y electricidad y como combustible; es almacenable y puede contribuir a cubrir la demanda base o las puntas de consumo | Brudermann et al., 2015 | 7,9 | |
| | $O_7$ | Desarrollo de proyectos para áreas locales, incremento de la creación de valor a nivel regional y aumento de suministro de energía regional | Brudermann et al., 2015 | 8 | $O_d$ |
| | $O_8$ | Búsqueda de una mayor eficiencia y rentabilidad a través de la investigación y el desarrollo. | Brudermann et al., 2015 | 7,8 | |
| | $O_9$ | Descarbonización: Tiene un papel fundamental para lograr los objetivos europeos de eliminación del carbono en el mix energético. | Parkes, 2017 | 7,9 | $O_e$ |
| | $O_{10}$ | Favorece la creación de empleo | Adaptado de Smyth et al. 2010 | 6,9 | |
| Amenazas | $A_1$ | Las tarifas dependen de decisiones políticas | Brudermann et al., 2015 | 8,1 | $A_a$ |
| | $A_2$ | Posibles ayudas públicas dependientes de decisiones políticas | Brudermann et al., 2015 | 8 | $A_b$ |
| | $A_3$ | Variación de la composición de residuos municipales: Reducción de la cantidad de materia orgánica | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 6,6 | $A_c$ |
| | $A_4$ | Dilema autoabastecimiento energético – venta de energía | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 6,1 | |
| | $A_5$ | Dependencia de proveedores externos para la compra de otros insumos | Brudermann et al., 2015 | 5,8 | |
| | $A_6$ | Los requisitos legales, técnicos y de seguridad para el permiso, construcción y operación a menudo representan grandes obstáculos administrativos | Brudermann et al., 2015 | 7,1 | $A_d$ |
| | $A_7$ | Peligro potencial del biogás y/o biometano: es decir, reacción explosiva entre el aire y el biogás y biometano en una determinada concentración | Brudermann et al., 2015 | 4,8 | |
| | $A_8$ | Baja aceptación social: la población puede temer un impacto negativo en su calidad de vida | Brudermann et al., 2015 | 5,3 | |
| | $A_9$ | Los microorganismos producidos durante el proceso pueden suponer un riego para la salud humana y el medio ambiente | CER, 2013 | 3,3 | |
| | $A_{10}$ | Posibles cambios normativos en materia energética y/o de gestión de residuos | Adaptado de Smyth et al. 2010 | 7,1 | $A_e$ |

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

DAFO+PE+AHP

Panel de expertos

DAFO

AHP

# Resultados y discusión

**ANÁLISIS INTERNO**

| | | Potenciales factores | Referencias | Valor medio | Seleccionado |
|---|---|---|---|---|---|
| Fortalezas | $F_1$ | Fuente adicional de ingresos a través de las ventas de energía y/o el autosuministro de energía | Brudermann et al., 2015 | 7,3 | |
| | $F_2$ | **La utilización de recursos disponibles como insumo para la obtención de energía renovable** | **Brudermann et al., 2015** | **8,4** | **$F_a$** |
| | $F_3$ | **Existe tecnología que permite la obtención de energía** | **Brudermann et al., 2015** | **8,3** | **$F_b$** |
| | $F_4$ | Los operadores tienen un buen conocimiento de insumo | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 6,4 | |
| | $F_5$ | La titularidad pública de las instalaciones de residuos sólidos urbanos facilita la continuidad de suministro del insumo | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 6,7 | |
| | $F_6$ | **La valorización energética de los residuos orgánicos es posible** | **Brudermann et al., 2015** | **8,5** | **$F_c$** |
| | $F_7$ | **Hay un beneficio económico y ecológico del uso de residuos orgánicos para la producción de biogás** | **Adaptado de Brudermann et al., 2015** | **8,4** | **$F_d$** |
| | $F_8$ | El biogás es una tecnología madura de obtención de energía renovable | Hoo et al. 2018 | 7,8 | |
| | $F_9$ | **Otros residuos de materia orgánica (residuos agrícolas, cultivos energéticos y residuos orgánicos industriales) puede ser usados junto con la fracción orgánica de los residuos municipales como co-insumo** | **Hoo et al. 2018** | **7,9** | **$F_e$** |
| | $F_{10}$ | La tecnología permite adaptarse a las variaciones de la producción | CER, 2013 | 6,7 | |
| Debilidades | $D_1$ | **Altos costos de inversión y operación** | **Adaptado de Brudermann et al., 2015** | **7,3** | **$D_a$** |
| | $D_2$ | **Bajos ingresos de las ventas de energía, que podrían no cubrir los costos** | **Adaptado de Brudermann et al., 2015** | **6,9** | **$D_b$** |
| | $D_3$ | Disponibilidad limitada de materia orgánica municipal para la producción de insumo | Brudermann et al., 2015 | 5,2 | |
| | $D_4$ | **Posible infrautilización de la capacidad de la planta, por ejemplo, debido a la falta de insumos** | **Brudermann et al., 2015** | **5,8** | **$D_c$** |
| | $D_5$ | Posible falta de uso para el biogás generado | Brudermann et al., 2015 | 3,9 | |
| | $D_6$ | La falta de conocimientos tecnológicos o de experiencia de los operadores | Brudermann et al., 2015 | 5,1 | |
| | $D_7$ | La carga de trabajo para operar las plantas, a menudo, es subestimada por los operadores | Brudermann et al., 2015 | 5,2 | |
| | $D_8$ | **Escasa implantación de estas tecnologías** | **Adaptado de Miltner et al. 2017** | **5,8** | **$D_d$** |
| | $D_9$ | **Distancia entre el punto de producción de biogás y el de uso** | **Adaptado de Speirs et al. 2018** | **6,5** | **$D_e$** |
| | $D_{10}$ | Necesidad de adquirir otros insumos debido a la baja disponibilidad de materia orgánica | Adaptado de Miltner et al. 2017 | 5,1 | |

**ANÁLISIS EXTERNO**

| | | Potenciales factores | Referencias | Valor medio | Seleccionado |
|---|---|---|---|---|---|
| Oportunidades | $O_1$ | **Efectos positivos sobre el cambio climático al favorecer el uso de energías renovables y reducir las emisiones de $CO_2$** | **Brudermann et al., 2015** | **8,9** | **$O_a$** |
| | $O_2$ | **Busca reducir la dependencia de los combustibles fósiles** | **Brudermann et al., 2015** | **7,9** | **$O_b$** |
| | $O_3$ | Reduce la dependencia de las importaciones energéticas lo que contribuye a la seguridad de suministro de energía | Brudermann et al., 2015 | 7,4 | |
| | $O_4$ | Suficiente cantidad de materia orgánica generada para garantizar una producción mínima de biogás | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 7,2 | |
| | $O_5$ | **La política europea sobre economía circular favorece la implantación de esta tecnología** | **Adaptado de Brudermann et al., 2015** | **7,9** | **$O_c$** |
| | $O_6$ | Polivalencia de biogás: se puede utilizar para generación de calor y electricidad y como combustible; es almacenable y puede contribuir a cubrir la demanda base o las puntas de consumo | Brudermann et al., 2015 | 7,9 | |
| | $O_7$ | **Desarrollo de proyectos para áreas locales, incremento de la creación de valor a nivel regional y aumento de suministro de energía regional** | **Brudermann et al., 2015** | **8** | **$O_d$** |
| | $O_8$ | Búsqueda de una mayor eficiencia y rentabilidad a través de la investigación y el desarrollo. | Brudermann et al., 2015 | 7,8 | |
| | $O_9$ | **Descarbonización: Tiene un papel fundamental para lograr los objetivos europeos de eliminación del carbono en el mix energético.** | **Parkes, 2017** | **7,9** | **$O_e$** |
| | $O_{10}$ | Favorece la creación de empleo | Adaptado de Smyth et al. 2010 | 6,9 | |
| Amenazas | $A_1$ | **Las tarifas dependen de decisiones políticas** | **Brudermann et al., 2015** | **8,1** | **$A_a$** |
| | $A_2$ | **Posibles ayudas públicas dependientes de decisiones políticas** | **Brudermann et al., 2015** | **8** | **$A_b$** |
| | $A_3$ | **Variación de la composición de residuos municipales: Reducción de la cantidad de materia orgánica** | **Adaptado de Brudermann et al., 2015** | **6,6** | **$A_c$** |
| | $A_4$ | Dilema autoabastecimiento energético – venta de energía | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 6,1 | |
| | $A_5$ | Dependencia de proveedores externos para la compra de otros insumos | Brudermann et al., 2015 | 5,8 | |
| | $A_6$ | **Los requisitos legales, técnicos y de seguridad para el permiso, construcción y operación a menudo representan grandes obstáculos administrativos** | **Brudermann et al., 2015** | **7,1** | **$A_d$** |
| | $A_7$ | Peligro potencial del biogás y/o biometano: es decir, reacción explosiva entre el aire y el biogás y biometano en una determinada concentración | Brudermann et al., 2015 | 4,8 | |
| | $A_8$ | Baja aceptación social: la población puede temer un impacto negativo en su calidad de vida | Brudermann et al., 2015 | 5,3 | |
| | $A_9$ | Los microorganismos producidos durante el proceso pueden suponer un riego para la salud humana y el medio ambiente | CER, 2013 | 3,3 | |
| | $A_{10}$ | **Posibles cambios normativos en materia energética y/o de gestión de residuos** | **Adaptado de Smyth et al. 2010** | **7,1** | **$A_e$** |

DAFO+PE+AHP

Panel de expertos

DAFO

AHP

# Resultados y discusión

| | Facilita el alcance de objetivos | Dificulta el alcance de objetivos |
|---|---|---|
| Factores internos | **Fortalezas**<br>• Utilización de recursos disponibles como insumo<br>• Existe tecnología disponible<br>• Posible valorización y/o reciclaje de estos residuos<br>• Hay un beneficio económico y ecológico del uso de residuos orgánicos<br>• Otros residuos de materia orgánica puede ser usados junto como co-insumo | **Debilidades**<br>• Altos costos<br>• Bajos ingresos<br>• Posible infrautilización de la capacidad de la planta<br>• Escasa implantación de estas tecnologías<br>• Distancia entre el punto de producción y el de uso |
| Factores externos | **Oportunidades**<br>• Efectos positivos sobre el cambio climático<br>• Reduce la dependencia de recursos naturales<br>• La política europea sobre economía circular favorece la implantación<br>• Desarrollo de proyectos para áreas locales e incremento de la creación de valor a nivel regional<br>• Descarbonización | **Amenazas**<br>• Las tarifas dependen de decisiones políticas<br>• Posibles ayudas públicas dependientes de decisiones políticas<br>• Reducción del porcentaje de materia orgánica<br>• Los requisitos legales, técnicos y de seguridad representan obstáculos administrativos<br>• Posibles cambios normativos |

DAFO+PE+AHP

Panel de expertos

DAFO

AHP

# Resultados y discusión

Escenario 1. Matrices de comparación por pares, matrices normalizadas, vectores promedio y vectores de la prioridad del factor local, para cada grupo de factores

| | $\hat{A}$ | $\hat{A}_n$ | $V_p$ |
|---|---|---|---|
| *Fortalezas* | $\begin{pmatrix} 1,000 & 1,054 & 0,509 & 0,333 & 0,622 \\ 0,949 & 1,000 & 0,600 & 0,854 & 1,414 \\ 1,966 & 1,667 & 1,000 & 0,676 & 1,414 \\ 3,000 & 1,171 & 1,480 & 1,000 & 1,296 \\ 1,609 & 0,707 & 0,707 & 0,771 & 1,000 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 0,117 & 0,188 & 0,118 & 0,092 & 0,108 \\ 0,111 & 0,179 & 0,140 & 0,235 & 0,246 \\ 0,231 & 0,298 & 0,233 & 0,186 & 0,246 \\ 0,352 & 0,209 & 0,344 & 0,275 & 0,226 \\ 0,189 & 0,126 & 0,165 & 0,212 & 0,174 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 0,125 \\ 0,182 \\ 0,239 \\ 0,281 \\ 0,173 \end{pmatrix}$ |
| *Debilidades* | $\begin{pmatrix} 1,000 & 0,926 & 1,276 & 3,118 & 1,222 \\ 1,080 & 1,000 & 3,000 & 3,105 & 1,720 \\ 0,784 & 0,333 & 1,000 & 1,947 & 0,730 \\ 0,321 & 0,322 & 0,514 & 1,000 & 0,321 \\ 0,818 & 0,581 & 1,370 & 3,118 & 1,000 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 0,250 & 0,293 & 0,178 & 0,254 & 0,245 \\ 0,270 & 0,316 & 0,419 & 0,253 & 0,245 \\ 0,196 & 0,105 & 0,140 & 0,158 & 0,146 \\ 0,080 & 0,102 & 0,072 & 0,08 & 0,064 \\ 0,204 & 0,184 & 0,191 & 0,254 & 0,200 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 0,244 \\ 0,320 \\ 0,149 \\ 0,080 \\ 0,207 \end{pmatrix}$ |
| *Oportunidades* | $\begin{pmatrix} 1,000 & 1,194 & 1,242 & 1,000 & 2,895 \\ 0,838 & 1,000 & 1,205 & 1,080 & 1,952 \\ 0,805 & 0,830 & 1,000 & 0,467 & 0,897 \\ 1,000 & 0,926 & 2,143 & 1,000 & 1,129 \\ 0,345 & 0,512 & 1,114 & 0,886 & 1,000 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 0,251 & 0,268 & 0,185 & 0,226 & 0,368 \\ 0,210 & 0,224 & 0,180 & 0,244 & 0,248 \\ 0,202 & 0,186 & 0,149 & 0,105 & 0,114 \\ 0,251 & 0,208 & 0,320 & 0,226 & 0,143 \\ 0,087 & 0,115 & 0,166 & 0,200 & 0,127 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 0,259 \\ 0,221 \\ 0,151 \\ 0,229 \\ 0,139 \end{pmatrix}$ |
| *Amenazas* | $\begin{pmatrix} 1,000 & 0,659 & 0,673 & 0,510 & 0,265 \\ 1,519 & 1,000 & 0,569 & 0,333 & 0,321 \\ 1,485 & 1,759 & 1,000 & 0,404 & 0,756 \\ 1,960 & 3,000 & 2,474 & 1,000 & 0,442 \\ 3,769 & 3,118 & 1,323 & 2,263 & 1,000 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 0,103 & 0,069 & 0,112 & 0,113 & 0,095 \\ 0,156 & 0,105 & 0,094 & 0,074 & 0,115 \\ 0,153 & 0,184 & 0,166 & 0,090 & 0,272 \\ 0,201 & 0,315 & 0,410 & 0,222 & 0,159 \\ 0,387 & 0,327 & 0,219 & 0,502 & 0,359 \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} 0,098 \\ 0,109 \\ 0,173 \\ 0,261 \\ 0,359 \end{pmatrix}$ |

DAFO+PE+AHP

Panel de expertos

DAFO

AHP

# Resultados y discusión

*Prioridad del factor local y posición para cada factor, por categoría y escenario*

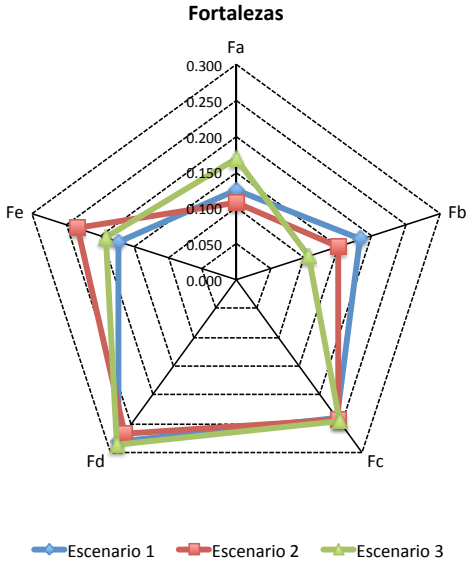
| Categoría | | | Prioridad del factor local | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Escenario 1 | Escenario 2 | Escenario 3 |
| Fortalezas | $F_a$ | Valor | 0,125 | 0,108 | 0,170 |
| | | Posición | 5º | 5º | 4º |
| | $F_b$ | Valor | 0,182 | 0,150 | 0,107 |
| | | Posición | 3º | 4º | 5º |
| | $F_c$ | Valor | 0,239 | 0,242 | 0,246 |
| | | Posición | 2º | 2º | 2º |
| | $F_d$ | Valor | 0,281 | 0,267 | 0,286 |
| | | Posición | 1º | 1º | 1º |
| | $F_e$ | Valor | 0,173 | 0,233 | 0,191 |
| | | Posición | 4º | 3º | 3º |
| Debilidades | $D_a$ | Valor | 0,244 | 0,339 | 0,338 |
| | | Posición | 2º | 1º | 1º |
| | $D_b$ | Valor | 0,320 | 0,150 | 0,190 |
| | | Posición | 1º | 4º | 3º |
| | $D_c$ | Valor | 0,149 | 0,160 | 0,132 |
| | | Posición | 4º | 3º | 5º |
| | $D_d$ | Valor | 0,080 | 0,090 | 0,147 |
| | | Posición | 5º | 5º | 4º |
| | $D_e$ | Valor | 0,207 | 0,260 | 0,193 |
| | | Posición | 3º | 2º | 2º |
| Oportunidades | $O_a$ | Valor | 0,259 | 0,207 | 0,202 |
| | | Posición | 1º | 3º | 2º |
| | $O_b$ | Valor | 0,221 | 0,214 | 0,253 |
| | | Posición | 3º | 2º | 1º |
| | $O_c$ | Valor | 0,151 | 0,152 | 0,194 |
| | | Posición | 4º | 5º | 3º |
| | $O_d$ | Valor | 0,229 | 0,206 | 0,175 |
| | | Posición | 2º | 4º | 5º |
| | $O_e$ | Valor | 0,139 | 0,220 | 0,177 |
| | | Posición | 5º | 1º | 4º |
| Amenazas | $A_a$ | Valor | 0,098 | 0,203 | 0,165 |
| | | Posición | 5º | 2º | 3º |
| | $A_b$ | Valor | 0,109 | 0,129 | 0,152 |
| | | Posición | 4º | 4º | 4º |
| | $A_c$ | Valor | 0,173 | 0,116 | 0,118 |
| | | Posición | 3º | 5º | 5º |
| | $A_d$ | Valor | 0,261 | 0,188 | 0,260 |
| | | Posición | 2º | 3º | 2º |
| | $A_e$ | Valor | 0,359 | 0,363 | 0,305 |
| | | Posición | 1º | 1º | 1º |

DAFO+PE+AHP

Panel de expertos

DAFO

AHP




| | |
|---|---|
| $F_a$ | Utilización de recursos disponibles como insumo |
| $F_b$ | Existe tecnología disponible para llevarlo a cabo |
| $F_c$ | La valorización y/o reciclaje de estos residuos es posible |
| $F_d$ | Hay un beneficio económico y ecológico del uso de residuos orgánicos |
| $F_e$ | Otros residuos de materia orgánica (residuos agrícolas, cultivos energéticos y residuos orgánicos industriales) puede ser usados junto con la fracción orgánica de los residuos municipales como co-insumo |

# Resultados y discusión

- En los tres casos el factor que genera una ventaja competitiva sobre el resto ha sido el *beneficio económico y ecológico derivado del uso de los residuos orgánicos* ($F_d$), que ha obtenido el valor de prioridad local más elevado, seguido del que contempla *la posibilidad de valorización y/o reciclaje de estos residuos* ($F_c$).
- Desde el punto de vista ambiental se destaca:
  - la disminución de fertilizantes químicos y pesticidas debido al uso de compost, así como su papel como agente supresor frente diferentes enfermedades en cultivos así como en el secuestro de carbono
  - la combustión de biogás tiene un impacto en los GEI 21 veces menor
  - el $CO_2$ producido en la combustión proviene de la biomasa, es decir tiene balance neutro, a lo que se suman las emisiones evitadas.
- Desde el punto de vista económico el biogás es una valiosa fuente de energía alternativa y sostenible; no obstante la energía eléctrica producida a partir del biogás no es competitiva por lo que el biometano es una alternativa que va tomando más relevancia.

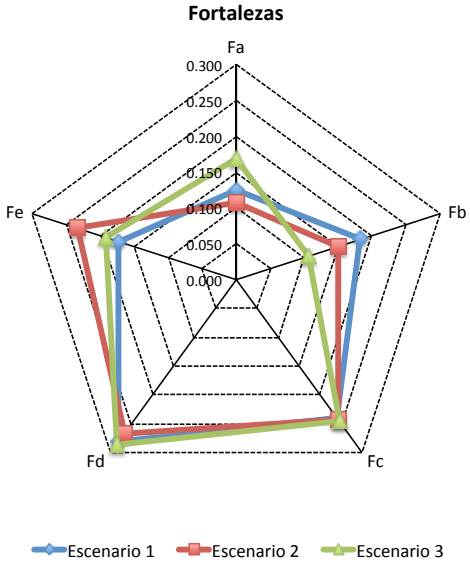
DAFO+PE+AHP

Panel de expertos

DAFO

AHP

# Resultados y discusión




$F_a$ Utilización de recursos disponibles como insumo
$F_b$ Existe tecnología disponible para llevarlo a cabo
$F_c$ La valorización y/o reciclaje de estos residuos es posible
$F_d$ Hay un beneficio económico y ecológico del uso de residuos orgánicos
$F_e$ Otros residuos de materia orgánica (residuos agrícolas, cultivos energéticos y residuos orgánicos industriales) puede ser usados junto con la fracción orgánica de los residuos municipales como co-insumo

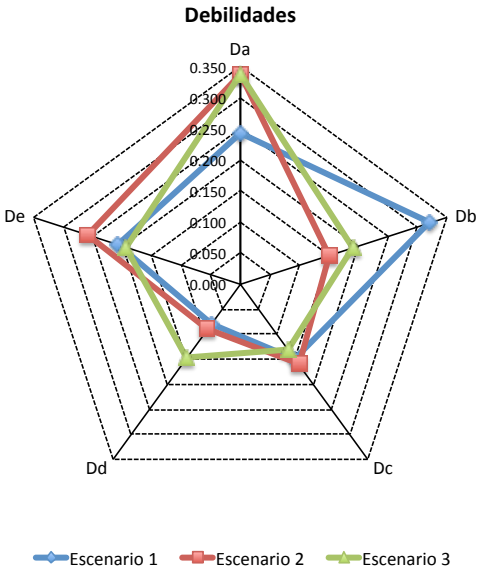
- Finalmente, en el caso de los tres escenarios, las fortalezas que han obtenido un valor más bajo han sido *la utilización de recursos disponibles como insumo* ($F_a$) y la *posibilidad de utilizar otros residuos de materia orgánica (residuos agrícolas, cultivos energéticos y residuos orgánicos industriales) junto con la fracción orgánica de los residuos municipales como co-insumo* ($F_e$) y *la existencia de tecnología disponible para llevarlo a cabo* ($F_b$).
- Estos resultados ponen de manifiesto la disponibilidad de insumos que garantiza el funcionamiento de los sistemas, así como el hecho que las tecnologías para el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos se consideran consolidadas.

DAFO+PE+AHP

Panel de expertos

DAFO

AHP




| | |
|---|---|
| $D_a$ | Altos costos de inversión y operación |
| $D_b$ | Bajos ingresos de las ventas de energía y/o compost, que podrían no cubrir los costos |
| $D_c$ | Posible infrautilización de la capacidad de la planta, por ejemplo, debido a la falta de insumos |
| $D_d$ | Escasa implantación de estas tecnologías |
| $D_e$ | Distancia entre el punto de producción y el de uso |

# Resultados y discusión

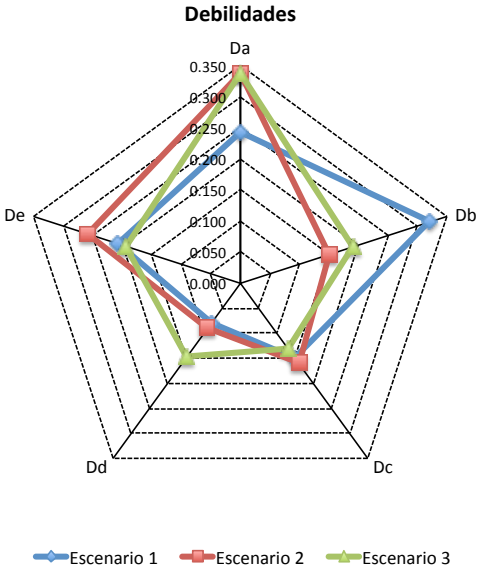
- El compost permite mejorar mejorar el suelo contribuyendo a una economía más "bio", aunque hay barreras que dificultan su mercado; por este motivo el escenario 1 presenta como debilidad más importante *los bajos ingresos de las ventas del compost, que podrían no cubrir los costos* ($D_b$).
- Aunque es un proceso económico en comparación con el resto, en el compostaje cada vez es más necesario aplicar tecnologías más complejas que encarecen el proceso, con el fin de obtener mayor calidad con bajo impacto ambiental del proceso. Por este motivo los posibles *altos costes de inversión y operación* ($D_a$) ocupan el segundo lugar.
- La biometanización, aunque genera un digestato que puede ser también sometido a compostaje, persigue fundamentalmente la producción de un biogás para producción de energía. No obstante presenta costes de instalación, explotación y mantenimiento mayores que los del compostaje aerobio que son necesarios optimizar. Por este motivo la debilidad más importante en los escenarios 2 y 3 ha sido los *altos costes de inversión y operación* ($D_a$).

DAFO+PE+AHP

Panel de expertos

DAFO

AHP




| | |
|---|---|
| $D_a$ | Altos costos de inversión y operación |
| $D_b$ | Bajos ingresos de las ventas de energía y/o compost, que podrían no cubrir los costos |
| $D_c$ | Posible infrautilización de la capacidad de la planta, por ejemplo, debido a la falta de insumos |
| $D_d$ | Escasa implantación de estas tecnologías |
| $D_e$ | Distancia entre el punto de producción y el de uso |

# Resultados y discusión

- La industria del biogás se ha desarrollado en mercados de producción primada, ya sea para la generación eléctrica, uso de calor o vertido de biometano a la red de gas natural.
- Se observa la necesidad de reducir los costes de inversión y operación si se busca la expansión económicamente sostenible del sector, además de que el precio de venta del biometano sea subsidiado para ayudar a los proyectos a alcanzar el punto de equilibrio.
- Existe una implantación de tecnología y una disponibilidad de recursos que sirvan como insumos para su funcionamiento, que hacen que las debilidades que han obtenido un valor más bajo han sido *la escasa implantación de estas tecnologías* ($D_d$) y *la posible infrautilización de la capacidad de la planta, por ejemplo debido a la falta de insumos* ($D_c$).

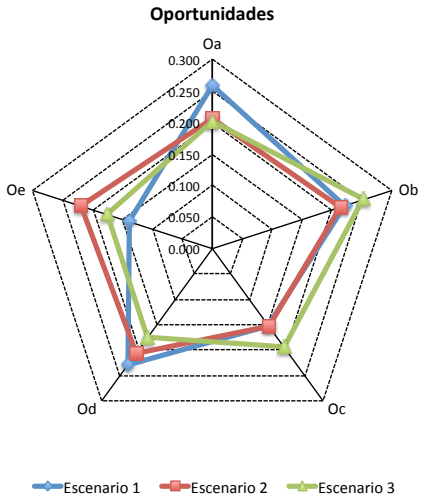
DAFO+PE+AHP

Panel de expertos

DAFO

AHP

# Resultados y discusión




- $O_a$ Efectos positivos sobre el cambio climático: favorecer el uso de energías renovables, reducir las emisiones de CO2
- $O_b$ Busca reducir la dependencia de otros recursos naturales
- $O_c$ La política europea sobre economía circular favorece la implantación de esta tecnología
- $O_d$ Desarrollo de proyectos para áreas locales e incremento de la creación de valor a nivel regional
- $O_e$ Descarbonización: Tiene un papel fundamental para lograr los objetivos europeos de reducción del uso de carbón

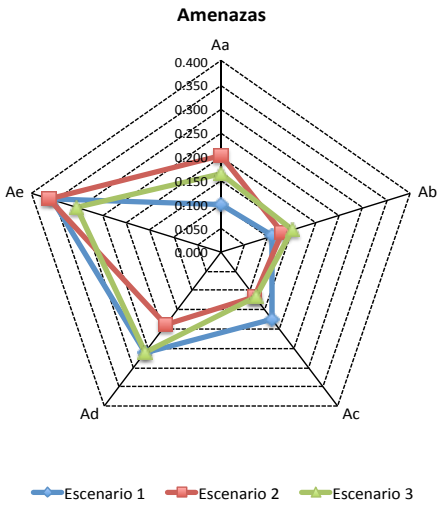
- La situación externa que más efectos positivos tendrá se refiere a *sus efectos sobre el cambio climático* ($O_a$), *la descarbonatación* ($O_e$) y *la búsqueda de la reducción de la dependencia de otros recursos naturales* ($O_b$).
- Los efectos positivos sobre el cambio climático son más relevantes en la producción de biogás a partir de la materia orgánica ya que contribuye a la descarbonización de la al migrar hacia el uso de energías más limpias reduciendo las emisiones de $CO_2$ y la dependencia de otros recursos naturales.
- Se destaca en el caso del escenario 1 la oportunidad que presenta esta tecnología en el desarrollo de proyecto para áreas locales e incremento de la creación de valor a nivel regional.
- Finalmente los expertos valoran que *la política europea sobre economía circular* tiene un bajo efecto en cuanto a favorecer la implantación de estas tecnologías, debido a que todavía es necesaria una concienciación en cuanto a la modificación del modelo productivo ya que su implantación se prevé lenta.

DAFO+PE+AHP

Panel de expertos

DAFO

AHP




| | |
|---|---|
| $A_a$ | Las tarifas dependen de decisiones políticas |
| $A_b$ | Posibles ayudas públicas dependientes de decisiones políticas |
| $A_c$ | Variación de la composición de residuos municipales: Reducción de la cantidad de materia orgánica |
| $A_d$ | Los requisitos legales, técnicos y de seguridad para el permiso, construcción y operación a menudo representan grandes obstáculos administrativos |
| $A_e$ | Posibles cambios normativos en materia energética y/o de gestión de residuos |

# Resultados y discusión

- La situación externa más negativa se refiere a los *posibles cambios normativos en materia energética y/o de gestión de residuos* ($A_e$), lo que pone de manifiesto la preocupación por la aprobación de normativas que puedan afectar a prácticas destinadas al aprovechamiento de los residuos o bien de políticas energéticas.
- Esta situación externa negativa queda reforzada por la opinión de los expertos en cuanto a la amenaza que ha sido seleccionada en segundo lugar en el caso del escenario 2, por *la dependencia de las tarifas de las decisiones políticas* ($A_a$).
- Finalmente, en el caso del escenario 1 la amenaza que menos preocupa a los expertos ha sido *la dependencia de las tarifas de las decisiones políticas* ($A_a$), debido a que en este escenario el único subproducto generado es el compost cuyos precios finales depende de criterios de viabilidad, más que de posibles regulaciones de decisiones políticas. No obstante, el apoyo a iniciativas que fomenten la producción y el uso de fertilizantes orgánicos son fundamentales para reducir su coste y conseguir así un mayor.

DAFO+PE+AHP

Panel de expertos

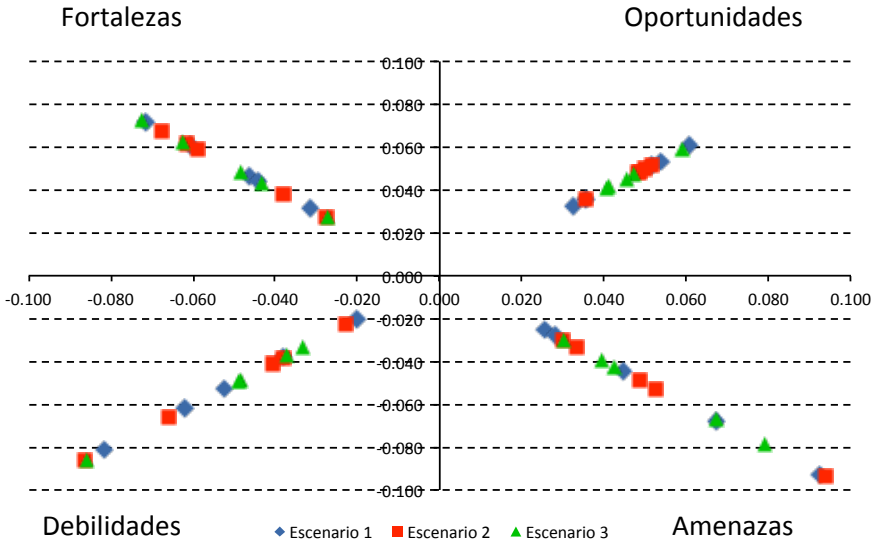
DAFO

AHP

# Resultados y discusión

*Prioridad del factor global y posición para cada factor por escenario*

| Categoría | Factores | Prioridad de factor global | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Escenario 1 | | Escenario 2 | | Escenario 3 | |
| | | Valor | Posición | Valor | Posición | Valor | Posición |
| Fortalezas ($W_F$ =0,2743) | $F_a$ | 0,034 | 16º | 0,030 | 18º | 0,047 | 13º |
| | $F_b$ | 0,050 | 10º | 0,041 | 14º | 0,029 | 19º |
| | $F_c$ | 0,065 | 5º | 0,066 | 4º | 0,067 | 5º |
| | $F_d$ | 0,077 | 2º | 0,073 | 2º | 0,078 | 1º |
| | $F_e$ | 0,048 | 11º | 0,064 | 5º | 0,052 | 10º |
| Debilidades ($W_D$ =0,2135) | $D_a$ | 0,052 | 9º | 0,072 | 3º | 0,072 | 3º |
| | $D_b$ | 0,068 | 4º | 0,032 | 16º | 0,041 | 14º |
| | $D_c$ | 0,032 | 17º | 0,034 | 15º | 0,028 | 20º |
| | $D_d$ | 0,017 | 20º | 0,019 | 20º | 0,031 | 17º |
| | $D_e$ | 0,044 | 12º | 0,056 | 9º | 0,054 | 8º |
| Oportunidades ($W_O$ =0,2683) | $O_a$ | 0,070 | 3º | 0,056 | 8º | 0,068 | 4º |
| | $O_b$ | 0,059 | 8º | 0,057 | 7º | 0,052 | 9º |
| | $O_c$ | 0,041 | 14º | 0,041 | 13º | 0,047 | 12º |
| | $O_d$ | 0,062 | 7º | 0,055 | 10º | 0,047 | 11º |
| | $O_e$ | 0,037 | 15º | 0,059 | 6º | 0,054 | 7º |
| Amenazas ($W_A$ =0,2439) | $A_a$ | 0,024 | 19º | 0,050 | 11º | 0,040 | 15º |
| | $A_b$ | 0,027 | 18º | 0,032 | 17º | 0,037 | 16º |
| | $A_c$ | 0,042 | 13º | 0,028 | 19º | 0,029 | 18º |
| | $A_d$ | 0,064 | 6º | 0,046 | 12º | 0,063 | 6º |
| | $A_e$ | 0,088 | 1º | 0,089 | 1º | 0,074 | 2º |




- En términos generales, las debilidades y amenazas son más importantes que las fortalezas y oportunidades en los tres escenarios
- La valoración global que dan los expertos es similar para las tres alternativas analizadas.

DAFO+PE+AHP

Panel de expertos

DAFO

AHP

# Resultados y discusión

*Prioridad del factor global y posición para cada factor por escenario*

| Categoría | Factores | Prioridad de factor global | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Escenario 1 | | Escenario 2 | | Escenario 3 | |
| | | Valor | Posición | Valor | Posición | Valor | Posición |
| Fortalezas ($W_F$ =0,2743) | $F_a$ | 0,034 | 16º | 0,030 | 18º | 0,047 | 13º |
| | $F_b$ | 0,050 | 10º | 0,041 | 14º | 0,029 | 19º |
| | $F_c$ | 0,065 | 5º | 0,066 | 4º | 0,067 | 5º |
| | $F_d$ | 0,077 | 2º | 0,073 | 2º | 0,078 | 1º |
| | $F_e$ | 0,048 | 11º | 0,064 | 5º | 0,052 | 10º |
| Debilidades ($W_D$ =0,2135) | $D_a$ | 0,052 | 9º | 0,072 | 3º | 0,072 | 3º |
| | $D_b$ | 0,068 | 4º | 0,032 | 16º | 0,041 | 14º |
| | $D_c$ | 0,032 | 17º | 0,034 | 15º | 0,028 | 20º |
| | $D_d$ | 0,017 | 20º | 0,019 | 20º | 0,031 | 17º |
| | $D_e$ | 0,044 | 12º | 0,056 | 9º | 0,054 | 8º |
| Oportunidades ($W_O$ =0,2683) | $O_a$ | 0,070 | 3º | 0,056 | 8º | 0,068 | 4º |
| | $O_b$ | 0,059 | 8º | 0,057 | 7º | 0,052 | 9º |
| | $O_c$ | 0,041 | 14º | 0,041 | 13º | 0,047 | 12º |
| | $O_d$ | 0,062 | 7º | 0,055 | 10º | 0,047 | 11º |
| | $O_e$ | 0,037 | 15º | 0,059 | 6º | 0,054 | 7º |
| Amenazas ($W_A$ =0,2439) | $A_a$ | 0,024 | 19º | 0,050 | 11º | 0,040 | 15º |
| | $A_b$ | 0,027 | 18º | 0,032 | 17º | 0,037 | 16º |
| | $A_c$ | 0,042 | 13º | 0,028 | 19º | 0,029 | 18º |
| | $A_d$ | 0,064 | 6º | 0,046 | 12º | 0,063 | 6º |
| | $A_e$ | 0,088 | 1º | 0,089 | 1º | 0,074 | 2º |

En los Escenarios 1 y 2 el factor con mayor valor global es el la amenaza $A_e$, *posibles cambios normativos en materia energética y/o de gestión de residuos*, seguido de la fortaleza $F_d$, *el beneficio económico y ecológico del uso de residuos orgánicos*, el tercer puesto está ocupado por la $O_a$, *efectos positivos sobre el cambio climático*, y la $D_a$, *altos costes de inversión y explotación*, respectivamente.

En el Escenario 3, el factor con mayor valor global es la $F_d$, seguido de la amenaza $A_e$ y la $D_a$.

DAFO+PE+AHP

Panel de expertos

DAFO

AHP

# Resultados y discusión

*Prioridad del factor global y posición para cada factor por escenario*

| Categoría | Factores | Prioridad de factor global | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Escenario 1 | | Escenario 2 | | Escenario 3 | |
| | | Valor | Posición | Valor | Posición | Valor | Posición |
| Fortalezas ($W_F$=0,2743) | $F_a$ | 0,034 | 16º | 0,030 | 18º | 0,047 | 13º |
| | $F_b$ | 0,050 | 10º | 0,041 | 14º | 0,029 | 19º |
| | $F_c$ | 0,065 | 5º | 0,066 | 4º | 0,067 | 5º |
| | $F_d$ | 0,077 | 2º | 0,073 | 2º | 0,078 | 1º |
| | $F_e$ | 0,048 | 11º | 0,064 | 5º | 0,052 | 10º |
| Debilidades ($W_D$=0,2135) | $D_a$ | 0,052 | 9º | 0,072 | 3º | 0,072 | 3º |
| | $D_b$ | 0,068 | 4º | 0,032 | 16º | 0,041 | 14º |
| | $D_c$ | 0,032 | 17º | 0,034 | 15º | 0,028 | 20º |
| | $D_d$ | 0,017 | 20º | 0,019 | 20º | 0,031 | 17º |
| | $D_e$ | 0,044 | 12º | 0,056 | 9º | 0,054 | 8º |
| Oportunidades ($W_O$=0,2683) | $O_a$ | 0,070 | 3º | 0,056 | 8º | 0,068 | 4º |
| | $O_b$ | 0,059 | 8º | 0,057 | 7º | 0,052 | 9º |
| | $O_c$ | 0,041 | 14º | 0,041 | 13º | 0,047 | 12º |
| | $O_d$ | 0,062 | 7º | 0,055 | 10º | 0,047 | 11º |
| | $O_e$ | 0,037 | 15º | 0,059 | 6º | 0,054 | 7º |
| Amenazas ($W_A$=0,2439) | $A_a$ | 0,024 | 19º | 0,050 | 11º | 0,040 | 15º |
| | $A_b$ | 0,027 | 18º | 0,032 | 17º | 0,037 | 16º |
| | $A_c$ | 0,042 | 13º | 0,028 | 19º | 0,029 | 18º |
| | $A_d$ | 0,064 | 6º | 0,046 | 12º | 0,063 | 6º |
| | $A_e$ | 0,088 | 1º | 0,089 | 1º | 0,074 | 2º |

Los factores con menor valor global han sido asignados por los expertos a las debilidades $D_d$, *la escasa implantación de las tecnologías*, para los dos primeros escenarios y $D_c$, *posible infrautilización de la capacidad de la planta*, en el tercero.

DAFO+PE+AHP

Panel de expertos

DAFO

AHP

# Resultados y discusión

*Determinación de la Relación de Consistencia para las matrices de comparación*

| ***Escenarios*** | | $n_{max}$ | ***Índice de Consistencia (IC)*** | ***Relación de Consistencia (RC)*** | |
|---|---|---|---|---|---|
| *E1* | *Fortalezas* | *5,126* | *0,0314* | *0,0265* | *RC < 0,10 – Consistencia razonable* |
| | *Debilidades* | *5,071* | *0,0176* | *0,0148* | *RC < 0,10 – Consistencia razonable* |
| | *Oportunidades* | *5,071* | *0,0363* | *0,0306* | *RC < 0,10 – Consistencia razonable* |
| | *Amenazas* | *5,215* | *0,0539* | *0,0453* | *RC < 0,10 – Consistencia razonable* |
| *E2* | *Fortalezas* | *5,055* | *0,0127* | *0,0107* | *RC < 0,10 – Consistencia razonable* |
| | *Debilidades* | *5,054* | *0,0134* | *0,0113* | *RC < 0,10 – Consistencia razonable* |
| | *Oportunidades* | *5,134* | *0,0335* | *0,0282* | *RC < 0,10 – Consistencia razonable* |
| | *Amenazas* | *5,144* | *0,0360* | *0,0303* | *RC < 0,10 – Consistencia razonable* |
| *E3* | *Fortalezas* | *5,075* | *0,0187* | *0,0157* | *RC < 0,10 – Consistencia razonable* |
| | *Debilidades* | *5,118* | *0,0295* | *0,0249* | *RC < 0,10 – Consistencia razonable* |
| | *Oportunidades* | *5,129* | *0,0323* | *0,0272* | *RC < 0,10 – Consistencia razonable* |
| | *Amenazas* | *5,079* | *0,0199* | *0,0167* | *RC < 0,10 – Consistencia razonable* |
| *n=5*<br>*Índice de Consistencia Aleatorio (IA)=1,188* | | | | | |

# Conclusiones

- Las medidas impulsadas tras la aprobación de normativas europeas como la Directiva 31/99, de vertederos, y la Directiva 98/2008, marco de residuos, han dado lugar al desarrollo de tecnologías dirigidas a la recuperación de la FORM, entre las que destacan la producción de compost para su aplicación en la agricultura y la obtención de energía a partir de biogás.
- La obtención de subproductos implica una fuente de ingresos que permite reducir el canon, así como un conjunto beneficios ambientales, entre los que destacan el menor consumo de materias primas y contaminación procedente de la producción y uso de fertilizantes, los efectos positivos sobre los cultivos así como las emisiones de GEI evitadas por el uso del biogás y el biometano en sustitución de otros combustibles.
- La prioridad global de los factores calculada pone de manifiesto que la consulta a expertos no ha permitido seleccionar una de ellas frente a las demás.
- En el análisis de factores de prioridad local se observa que a pesar de que las tecnologías aplicadas están ampliamente desarrolladas, su implantación debe tener en cuenta una serie de variables que van a contribuir a su viabilidad económica, entre las que se encuentran el beneficio obtenido a partir de los subproductos que no siempre cubre los coste y la reducción de los costes de inversión y operación. Además se precisa que los gobiernos desarrollen un marco regulador no cambiante que de viabilidad y seguridad a este tipo de proyectos, así como de medidas que bonifiquen la obtención de energía a partir de los residuos para hacerlas competitivas.

***J.M. Fernández-González[1] , J. Martín-Pascual[1,2], F. Calvo[1], M. Zamorano[1,2]***

*[1] PROMA, Proyectos de Ingeniería Ambienta, S.L. Gran Vía 48 5ª planta, 18010, Granada*
*[2] ETS Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Campus Fuentenueva. 18071, Granada*

nedgia
grupo Gas Natural Fenosa

proma

Spin-Off
UNIVERSIDAD DE GRANADA

aee
The Association of Energy Engineers
Spain Chapter

www.aeespain.org

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

www.aeespain.org

# Inyección de biometano en la red de gas natural VS compostaje y producción de biogas: un análisis de factores para toma de decisiones

**J.M. Fernández-González[1] , J. Martín-Pascual[1,2], F. Calvo[1], M. Zamorano[1,2]**

1 PROMA, Proyectos de Ingeniería Ambienta, S.L. Gran Vía 48 5ª planta, 18010, Granada
2 ETS Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Campus Fuentenueva. 18071, Granada

**Resumen:** Entre las medidas necesarias para reducir las emisiones de efecto invernadero, se encuentra la progresiva sustitución del gas natural por otros de naturaleza renovable, como el biometano, lo que contribuirá a la descarbonización de las redes, además de cerrar los ciclos locales de nutrientes en el marco de la economía circular. En la actualidad la fracción orgánica de los residuos municipales se somete a tratamientos de compostaje o digestión anaerobia para obtener un biogás con el que se produce electricidad; sin embargo la producción de biometano está menos extendida aunque la legislación europea ha promovido esta solución. Con la finalidad de establecer pautas que permitan desarrollar estrategias que faciliten la superación de las barreras que existen hoy día en su implantación, en comparación con los tradicionalmente utilizados, se ha llevado a cabo un análisis integrado DAFO + AHP. Aunque los resultados han puesto de manifiesto una gran similitud en cuanto a las ventajas y desventajas de las tres alternativas analizadas, se observa una mayor amenaza de los cambios regulatorios en el caso de la producción de biogás y biometano; en los tres casos los beneficios ambientales y económicos se identifican como fortalezas, con la oportunidad de generar efectos positivos en el cambio climático, aunque el incremento de costes de inversión y explotación podrían amenazar su implementación. Se ha podido concluir que para la inyección en red de biometano necesita de promoción, así como estabilidad a medio y largo plazo, especialmente en materia de tasas, canon y requisitos legales..

**Palabras clave:** biometano; biogás; red gas; compostaje; materia orgánica.

## 1. INTRODUCCIÓN

Para dar cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones de (GEI), el sector energético en España necesita abordar una paulatina transición dirigida hacia una descarbonización eficiente, pero que a su vez mantenga la seguridad y la competitividad del suministro energético (Amores et al., 2016). Esto será posible si se implantan medidas que vayan dirigidas a realizar una serie de cambios en las formas de producción y consumo de energía, remplacen los vectores energéticos por otros con menores emisiones, desarrollen un parque de generación eléctrica basado en energía renovables e implanten medidas de eficiencia energética. Aunque algunos autores afirman que las redes de gas natural son sistemas no compatibles con los objetivos de cambio climático, se trata de un vector energético caracterizado por generar menores emisiones que los combustibles fósiles por su menor contenido de carbono y capacidad para ser utilizado en plantas generadoras de ciclo combinado que pueden alcanzar eficiencias térmicas considerablemente más altas, así como una gran flexibilidad que le permite ser aplicado en diversos sectores (transporte marítimo y por carretera, residencial industrial y de servicios). Esta fortaleza puede verse incrementada por la sustitución progresiva del gas natural por gases renovables como el biometano, lo que facilitaría la descarbonización del sistema energético futuro, además de proporcionar un uso más eficiente y circular de los recursos energéticos y las materias primas, todo ello aprovechando los activos existentes para el almacenamiento y transporte de gas natural (Sadler et al., 2016). Por su elevado contenido en metano, superior al 95%, el biometano es un portador de energía renovable con propiedades potencialmente equivalentes al metano por lo que contribuye a la reducción de emisiones de GEI; a esto se suma que, al igual que el gas natural, es un combustible flexible y fácilmente almacenable aplicable a los mismos usos sin necesidad de realizar modificaciones en las instalaciones y equipos (Speirs et al., 2018).

El uso del biometano en redes de gas natural fue incluido, por primera vez en la legislación europea mediante la Directiva 2003/55/CE, sobre normas comunes para el mercado interior del gas natural, y posteriormente en la Directiva 2009/73/CE, que define los objetivos para el suministro de energía renovable en el transporte que deben cumplir todos los Estados miembros. Esta regulación

ha permitido que en este sector exista un estándar europeo y, en teoría, un mercado europeo para el biometano. No obstante a día de hoy todavía su uso no es competitivo frente al gas natural y se encuentra poco extendido, salvo en países como Países Bajos, Austria, Suiza, Suecia y Alemania.

En el caso concreto de España, se comienza ya a visualizar el biometano como una alternativa al gas natural. Nuestro país se encuentra a la cabeza de la Unión Europea en infraestructuras y capacidad de almacenamiento de gas natural licuado, siendo el país europeo con mayor número de plantas de regasificación. Asimismo, por su situación geoestratégica, tiene un importante potencial para desarrollar el mercado de gas natural licuado orientado al suministro de este combustible en el transporte marítimo (Amores et al., 2016). Es, por tanto, necesario impulsar la utilización de las infraestructuras de gas natural para el transporte de gases verdes que necesitará de la puesta en marcha de un conjunto de puntos de producción localizados en los lugares de generación de residuos y dispersos por toda la geografía. Este tejido productivo facilitará la creación de una red estable, eficiente y flexible, además de estimular la economía local, el cierre de los ciclos locales de nutrientes, el fomento la economía del reciclaje, la reducción del consumo de recursos naturales y de emisiones de GEI.

El objetivo principal de este trabajo ha sido realizar un estudio sobre la viabilidad para la producción de biometano a partir de la fracción orgánica de los residuos municipales (FORM) para su inyección en redes de gas natural, en comparación con los tratamientos aplicados tradicionalmente a esta fracción.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Escenarios analizados

Los escenarios analizados en este trabajo han estado fundamentados en la recogida selectiva en origen de esta fracción y su reciclado y aprovechamiento, de acuerdo a las exigencias de la Directiva 2018/851, que modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos, y han sido los siguientes:

- Escenario 1. Estabilización aerobia para producción de compost. Este escenario se corresponde con el mínimo tratamiento exigible a la fracción de la materia orgánica de los residuos municipales, que permite reducir su eliminación en vertedero.
- Escenario 2. Biometanización para producción de electricidad. Permite la transformación de la fracción biodegradable de los residuos municipales en biogás, con el fin de ser utilizado como una fuente de energía secundaria para aprovechamiento energético en la propia instalación o bien mediante inyección de la electricidad generada en la red eléctrica. También se genera un digestato bruto que puede ser acondicionado para su aplicación en la agricultura.
- Escenario 3. Biometanización para producción de biometano y su inyección en redes de gas natural. El biogás producido se trata para eliminar componentes no deseables y enriquecerse en contenido en metano para generar biometano o gas verde, de características y usos similares al gas natural. Como en el escenario anterior, también en este caso se genera un digestato bruto que puede ser acondicionado para su aplicación en la agricultura.

### 2.2. Análisis integrado DAFO-AHP

El análisis DAFO es una herramienta utilizada en la evaluación de los procedimientos de gestión en empresas, proyectos y planes y permite identificar las Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades relacionadas con la competencia empresarias y la planificación de proyectos en estudio y existentes, facilitando la toma de decisiones de futuro. Aunque surgió en el campo del análisis económico, se ha extendido a varias direcciones de investigación y se ha aplicado cada vez más en el contexto de la investigación ambiental. Su principal ventaja es que la simplicidad, no

obstante, existen deficiencias en el enfoque DAFO tradicional, ya que produce una lista de factores superficial e imprecisa, basada en la percepción subjetiva de la selección de factores; además carece de priorización de factores con respecto a la importancia de cada factor DAFO.

El primero de los problemas se puede solucionar mediante la selección de un panel de expertos que permita reducir la subjetividad en la identificación de factores. Uno de los problemas que plantea el análisis DAFO es que produce una lista de factores que puede ser superficial e imprecisa, basada en la percepción subjetiva de la selección de estos (Ghazinoory et al., 2011). Para solucionar este problema y validar el DAFO de modo que permita obtener la matriz definitiva, se ha optado por la aplicación del método Delphi que permitirá seleccionar, de entre los factores resultantes del análisis interno y externo, los más relevantes. Se trata de una técnica prospectiva utilizada para obtener información esencialmente cualitativa, pero relativamente precisa, que consiste en invitar a personas especialistas en un determinado problema o área de conocimiento a participar en una encuesta con la finalidad de obtener el conocimiento necesario para validar o evaluar los resultados de una fase de la investigación, para poner a prueba un instrumento a utilizar o, simplemente, para ayudar al equipo investigación a comprender las particularidades de un objeto de investigación.

El segundo de ellos, es decir la ausencia de una priorización de estos factores, se ha solucionado con la propuesta de varios investigadores basada la integración de DAFO con otros métodos cuantitativos, como es el caso del Proceso de Jerarquía Analítica (AHP)-DAFO (Kangas et al., 2001), que hacen posible que los factores DAFO sean conmensurables en relación con su importancia relativa.

La metodología seguida para ello incluye las siguientes fases y etapas:

- Fase 1. Análisis DAFO. Ha tenido como objetivo la evaluación cualitativa los escenarios considerados. Para ello se han seguido las siguientes etapas:
    - Etapa 1. Análisis interno. Identificación de Fortalezas y Debilidades. Se seleccionaron un conjunto factores internos y controlables relacionados con las estrategias dirigidas a la gestión de la FORM. Estos factores facilitarán el desarrollo de estas estrategias (Fortalezas) o las dificultarán (Debilidades).
    - Etapa 2. Identificación de Oportunidades y Amenazas. A partir de la bibliografía consultada en Scopus, se seleccionaron un conjunto de factores externos que no dependen directamente del mismo, pero que afectan a las estrategias dirigidas a la gestión de la FORM y que serán fundamentales para definir futuras estrategias. Las áreas que han abarcado el análisis externo han sido el mercado, el sector, la competencia y el entorno, así como variables económicas, legislativas, sociológicas, tecnológicas o políticas, entre otros. Una parte de ellos facilitarán el desarrollo de estas estrategias (Oportunidades) y otros las dificultarán (Amenazas).
    - Etapa 3. Aplicación del método Delphi. Se preparó una encuesta que fue remitida por correo electrónico a 129 expertos, clasificados en tres categorías (Tabla I): académicos e investigadores (46,5%), operadores de plantas de tratamiento (43,4%) y gestores energéticos y responsables de políticas regionales (10,1%). De ellos el 39 fueron expertos de territorio nacional y 90 de ámbito internacional. Para recoger la opinión de los expertos se procedió al diseño de una encuesta en la que se pidió a los expertos que establecieran, de 1 a 10, el grado de importancia de cada uno de los potenciales factores seleccionados, considerando 1 como poco relevante y 10 muy importante.
    - Etapa 4. A partir de los resultados obtenidos con el panel de expertos, se seleccionaron los factores más relevantes, 5 en cada una de las categorías lo que permitió, finalmente, identificar las Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades, y elaborar la matriz tipo DAFO de las estrategias dirigidas a la gestión de la FORM.

**Tabla I.** *Características del panel de expertos establecido en este estudio*

| Categoría | | Encuestas enviadas | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Número | Porcentaje (%) | |
| | | | Por categoría | Sobre total |
| Académicos e investigadores | Nacionales | 7 | 11.7 | 5.4 |
| | Internacionales | 53 | 88.3 | 41.1 |
| | Total | 60 | | 46.5 |
| Operadores de plantas de tratamiento | Nacionales | 25 | 44.6 | 19.4 |
| | Internacionales | 31 | 55.4 | 24.0 |
| | Total | 56 | | 43.4 |
| Gestores energéticos y responsables de políticas regionales | Nacionales | 7 | 53.8 | 5.4 |
| | Internacionales | 6 | 46.2 | 4.7 |
| | Total | 13 | | 10.1 |
| Total | | 129 | | |

- Fase 2. Análisis AHP. La priorización de los factores seleccionados se ha hecho mediante la aplicación del método cuantitativo Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), desarrollado por Thomas L. Saaty (1980) y diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples e incluir datos cuantitativos relativos a las alternativas de decisión. Se trata de un proceso que requiere que quien tome las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios para, después, especificar su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio. De esta forma el AHP proporciona una jerarquización con prioridades que muestre la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión. Para ello se han seguido las siguientes etapas:
    - Aplicación del método Delphi. La aplicación de la integración DAFO-AHP exige una comparación por pares y la ponderación de los factores DAFO para cada uno de los tres escenarios considerados en el estudio. Para ello se ha contado, de nuevo, con el panel de 129 expertos incluidos en la Tabla 1, que facilitó la cuantificación de la importancia de los factores incluidos en la matriz DAFO, en este caso, ya en función de cada uno de los tres escenarios incluidos en el estudio. Con la finalidad de realizar la toma de datos se diseñó una encuesta que se remitió, por correo electrónico, para así conocer la opinión de los expertos involucrados de forma independiente. En esta nueva encuesta se pidió la comparación por pares entre los factores incluidos en la matriz DAFO, para cada una de las categorías y para cada escenario, según la escala de comparaciones recomendada por Saaty (1980), y recogida en la Figura 1, en la que se han dejado los números pares como pasos intermedios. El centro de la escala es, por lo tanto, 1:1, una posición que indica que los factores respectivos se consideran de igual importancia.

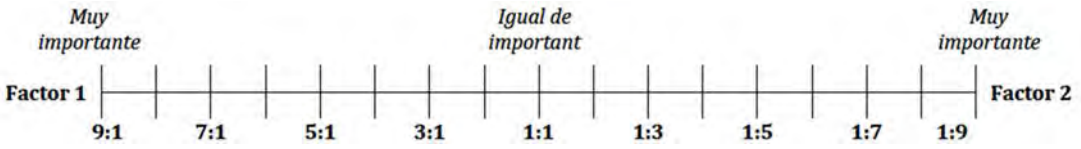



**Figura 1.** *Escala para comparaciones por pares en AHP*

- Determinación de la prioridad del factor local. A partir de las comparaciones obtenidas gracias a los expertos se obtuvo, para cada categoría de factores, una matriz original cuadrada A, de dimensión 5×5 con las comparaciones pareadas de las opiniones de los expertos, a partir de la cual se obtiene el vector promedio $V_p$ o vector de prioridades locales, para cada categoría de factores y escenario, donde la prioridad local de cada factor, en cada categoría y escenario, vendrá dado por el valor de $v_j$, para $j=1,2,3,4,5$.

$$V_p = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \end{pmatrix}$$

- Determinación de la prioridad del factor global. La prioridad del factor global por cada factor cada escenario permite ordenar la prioridad de los factores por escenario. Para su determinación ha sido necesario, en primer lugar, obtener el peso o ponderación por categoría, se ha determinado a partir del grado de importancia que los expertos han dado en la etapa de aplicación del DAFO a los veinte factores finalmente seleccionados. Para su cálculo se multiplicará, para cada factor y en cada escenario, el valor de la ponderación correspondiente al grupo en el que se engloba el factor y el valor correspondiente de su prioridad local $v_j$.
- Determinación del grado de consistencia. Finalmente, con la finalidad de conocer la calidad de la decisión final, de ha determinado la Relación de Consistencia (Saaty, 1980) de los juicios que muestra el tomador de decisiones en el transcurso de la serie de comparaciones pareadas. La relación de consistencia está diseñada de manera que los valores que exceden de 0,1 son señal de juicios inconsistentes; es probable que en estos casos el tomador de decisiones desee reconsiderar y modificar los valores originales de la matriz de comparaciones pareadas. Se considera que los valores de la razón de consistencia de 0,1 o menos son señal de un nivel razonable de consistencia en las comparaciones pareadas.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Análisis DAFO

La aplicación del análisis DAFO en este estudio ha tenido como objetivo la evaluación cualitativa de los tres escenarios seleccionados para la gestión de la fracción de materia orgánica procedente de los residuos municipales. Los resultados obtenidos se recogen a continuación.

- Análisis interno: Identificación de Fortalezas y Debilidades. Inicialmente, y a partir de la bibliografía consultada, se seleccionaron un total de 20 factores internos y controlables relacionados con las estrategias dirigidas al reciclaje y valorización la FORM. 10 de ellos de ha identificado con aspectos que facilitan el desarrollo de estas estrategias (Fortalezas) y otros 10 que las dificultan (Debilidades). Estos factores se recogen en la Tabla II, indicando las fuentes bibliográficas que facilitaron su identificación.

**Tabla II.** *Análisis interno. Identificación de potenciales Fortalezas y Debilidades, valoración de los potenciales factores a partir de las encuestas a expertos y selección de los mismos*

| | | Potenciales factores | Referencias | Valor medio | Seleccionado |
|---|---|---|---|---|---|
| Fortalezas | $F_1$ | Fuente adicional de ingresos a través de las ventas de energía y/o el autosuministro de energía | Brudermann et al., 2015 | 7,3 | |
| | $F_2$ | La utilización de recursos disponibles como insumo para la obtención de energía renovable | Brudermann et al., 2015 | 8,4 | $F_a$ |
| | $F_3$ | Existe tecnología que permite la obtención de energía | Brudermann et al., 2015 | 8,3 | $F_b$ |
| | $F_4$ | Los operadores tienen un buen conocimiento de insumo | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 6,4 | |
| | $F_5$ | La titularidad pública de las instalaciones de residuos sólidos urbanos facilita la continuidad de suministro del insumo | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 6,7 | |
| | $F_6$ | La valorización energética de los residuos orgánicos es posible | Brudermann et al., 2015 | 8,5 | $F_c$ |
| | $F_7$ | Hay un beneficio económico y ecológico del uso de residuos orgánicos para la producción de biogás | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 8,4 | $F_d$ |
| | $F_8$ | El biogás es una tecnología madura de obtención de energía renovable | Hoo et al. 2018 | 7,8 | |
| | $F_9$ | Otros residuos de materia orgánica (residuos agrícolas, cultivos energéticos y residuos orgánicos industriales) puede ser usados junto con la fracción orgánica de los residuos municipales como co-insumo | Hoo et al. 2018 | 7,9 | $F_e$ |
| | $F_{10}$ | La tecnología permite adaptarse a las variaciones de la producción | CER, 2013 | 6,7 | |
| Debilidades | $D_1$ | Altos costos de inversión y operación | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 7,3 | $D_a$ |
| | $D_2$ | Bajos ingresos de las ventas de energía, que podrían no cubrir los costos | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 6,9 | $D_b$ |
| | $D_3$ | Disponibilidad limitada de materia orgánica municipal para la producción de insumo | Brudermann et al., 2015 | 5,2 | |
| | $D_4$ | Posible infrautilización de la capacidad de la planta, por ejemplo, debido a la falta de insumos | Brudermann et al., 2015 | 5,8 | $D_c$ |
| | $D_5$ | Posible falta de uso para el biogás generado | Brudermann et al., 2015 | 3,9 | |
| | $D_6$ | La falta de conocimientos tecnológicos o de experiencia de los operadores | Brudermann et al., 2015 | 5,1 | |
| | $D_7$ | La carga de trabajo para operar las plantas, a menudo, es subestimada por los operadores | Brudermann et al., 2015 | 5,2 | |
| | $D_8$ | Escasa implantación de estas tecnologías | Adaptado de Miltner et al. 2017 | 5,8 | $D_d$ |
| | $D_9$ | Distancia entre el punto de producción de biogás y el de uso | Adaptado de Speirs et al. 2018 | 6,5 | $D_e$ |
| | $D_{10}$ | Necesidad de adquirir otros insumos debido a la baja disponibilidad de materia orgánica | Adaptado de Miltner et al. 2017 | 5,1 | |

**Tabla III.** *Análisis externo. Identificación de potenciales Oportunidades y Amenazas y valoración de los potenciales factores a partir de las encuestas a expertos y selección de los mismos*

| | | Potenciales factores | Referencias | Valor medio | Seleccionado |
|---|---|---|---|---|---|
| Oportunidades | $O_1$ | Efectos positivos sobre el cambio climático al favorecer el uso de energías renovables y reducir las emisiones de $CO_2$ | Brudermann et al., 2015 | 8,9 | $O_a$ |
| | $O_2$ | Busca reducir la dependencia de los combustibles fósiles | Brudermann et al., 2015 | 7,9 | $O_b$ |
| | $O_3$ | Reduce la dependencia de las importaciones energéticas lo que contribuye a la seguridad de suministro de energía | Brudermann et al., 2015 | 7,4 | |
| | $O_4$ | Suficiente cantidad de materia orgánica generada para garantizar una producción mínima de biogás | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 7,2 | |
| | $O_5$ | La política europea sobre economía circular favorece la implantación de esta tecnología | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 7,9 | $O_c$ |
| | $O_6$ | Polivalencia de biogás: se puede utilizar para generación de calor y electricidad y como combustible; es almacenable y puede contribuir a cubrir la demanda base o las puntas de consumo | Brudermann et al., 2015 | 7,9 | |
| | $O_7$ | Desarrollo de proyectos para áreas locales, incremento de la creación de valor a nivel regional y aumento de suministro de energía regional | Brudermann et al., 2015 | 8 | $O_d$ |
| | $O_8$ | Búsqueda de una mayor eficiencia y rentabilidad a través de la investigación y el desarrollo. | Brudermann et al., 2015 | 7,8 | |
| | $O_9$ | Descarbonización: Tiene un papel fundamental para lograr los objetivos europeos de eliminación del carbono en el mix energético. | Parkes, 2017 | 7,9 | $O_e$ |
| | $O_{10}$ | Favorece la creación de empleo | Adaptado de Smyth et al. 2010 | 6,9 | |
| Amenazas | $A_1$ | Las tarifas dependen de decisiones políticas | Brudermann et al., 2015 | 8,1 | $A_a$ |
| | $A_2$ | Posibles ayudas públicas dependientes de decisiones políticas | Brudermann et al., 2015 | 8 | $A_b$ |
| | $A_3$ | Variación de la composición de residuos municipales: Reducción de la cantidad de materia orgánica | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 6,6 | $A_c$ |
| | $A_4$ | Dilema autoabastecimiento energético – venta de energía | Adaptado de Brudermann et al., 2015 | 6,1 | |
| | $A_5$ | Dependencia de proveedores externos para la compra de otros insumos | Brudermann et al., 2015 | 5,8 | |
| | $A_6$ | Los requisitos legales, técnicos y de seguridad para el permiso, construcción y operación a menudo representan grandes obstáculos administrativos | Brudermann et al., 2015 | 7,1 | $A_d$ |
| | $A_7$ | Peligro potencial del biogás y/o biometano: es decir, reacción explosiva entre el aire y el biogás y biometano en una determinada concentración | Brudermann et al., 2015 | 4,8 | |
| | $A_8$ | Baja aceptación social: la población puede temer un impacto negativo en su calidad de vida | Brudermann et al., 2015 | 5,3 | |
| | $A_9$ | Los microorganismos producidos durante el proceso pueden suponer un riego para la salud humana y el medio ambiente | CER, 2013 | 3,3 | |
| | $A_{10}$ | Posibles cambios normativos en materia energética y/o de gestión de residuos | Adaptado de Smyth et al. 2010 | 7,1 | $A_e$ |

- Análisis externo: Identificación de Oportunidades y Amenazas. Inicialmente, y a partir de la bibliografía consultada, se seleccionaron un total de 20 factores externos, relacionados con las estrategias dirigidas al reciclaje y valorización la fracción de la FORM, que no dependen directamente de las mismas. 10 de ellos facilitarán el desarrollo de estas estrategias (Oportunidades) y otros 10 las dificultarán (Amenazas). Estos factores se recogen en la Tabla III, indicando las fuentes bibliográficas que facilitaron su identificación.
- Aplicación del método Delphi. La consulta al panel de expertos ha permitido seleccionar de entre los factores resultantes de los análisis interno y externo, los 20 más relevantes, 5 en cada una de las categorías (Fortalezas, Debilidades, Amenazas y Oportunidades). Para ello se distribuyó una encuesta entre el panel de expertos descrito en la Tabla I. De un total de 129 expertos, se obtuvo una respuesta de 35, lo que supuso el 27,1% de. La categoría que presentó un mayor índice de participación fue la de operadores de plantas de tratamiento (57,1%), seguido del académico (28,1%). Desde el punto de vista de la nacionalidad, la respuesta obtenida por expertos internacionales fue muy baja, con tan sólo 5 encuestas de las 35 enviadas (14,3%). En las Tablas II y III se recoge la valoración media obtenida para los 40 potenciales factores definidos, por categorías, lo que ha permitido finalmente seleccionar los 20 factores identificados en las mismas.
- Elaboración de la matriz DAFO. Finalmente, la matriz DAFO relativa a las estrategias dirigidas al reciclaje y valorización la fracción de la materia orgánica de los residuos municipales ha quedado tal y como se recoge en la Figura 2.

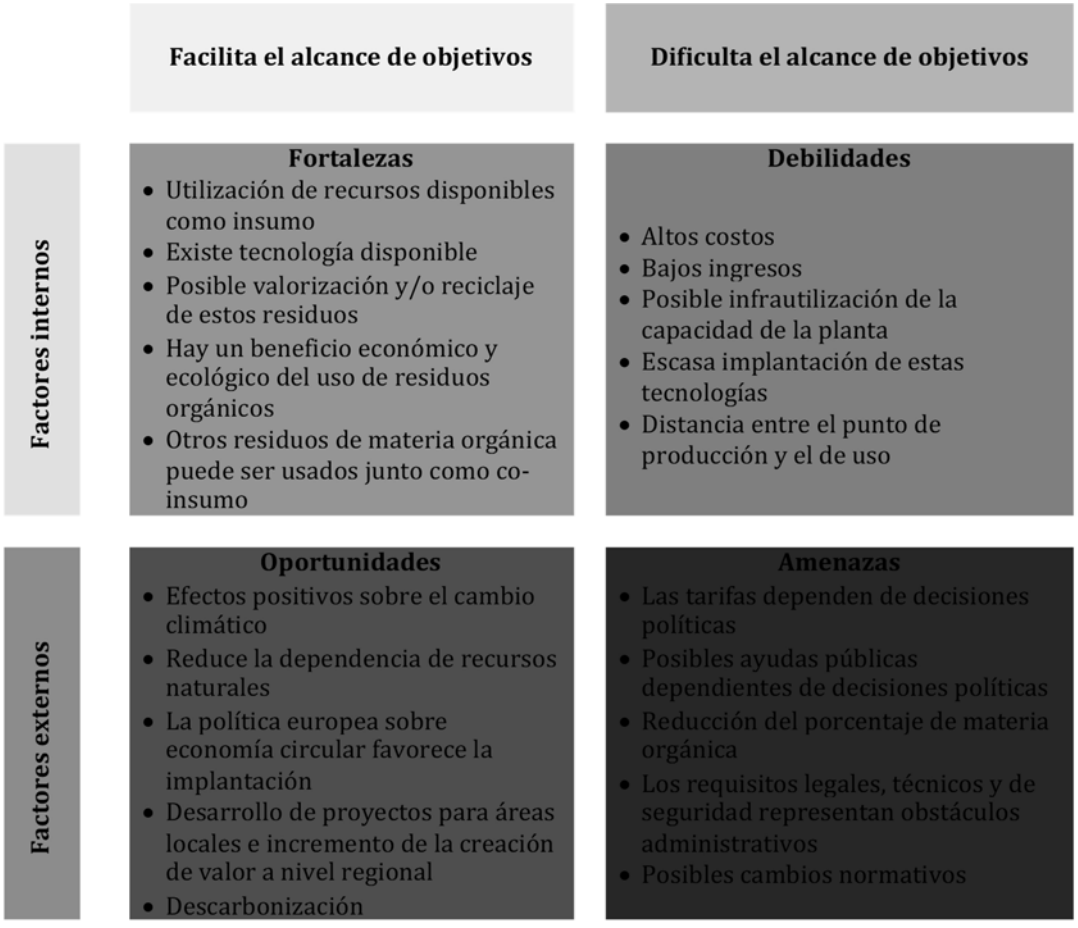



**Figura 2.** *Matriz DAFO relativa a las estrategias dirigidas al reciclaje y valorización la fracción de la materia orgánica de los residuos municipales*

### 3.2. Análisis AHP

La matriz DAFO obtenida permite analizar de forma global y cualitativa los puntos fuertes y débiles de una estrategia dirigida a gestionar la FORM, pero no una priorización de factores que permitiría la comparativa entre posibles soluciones técnicamente viables hoy día. Con la finalidad de valorar la importancia de los factores seleccionados para las tres estrategias incluidas en este estudio, se ha utilizado el método cuantitativo Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), que ha permitido obtener una clasificación sistemática de prioridad de dichos factores, dentro de cada grupo, así como de forma global. Los resultados obtenidos recogen a continuación.

- Aplicación del método Delphi. En esta fase, volvió a utilizar el panel de 129 expertos (Tabla I) a los que se les distribuyó una nueva encuesta en la que se solicitó a los expertos involucrados que hicieran comparaciones por pares descrita (Figura I). Con cinco factores por categoría, cuatro categorías, y tres escenarios los expertos tuvieron que hacer 120 comparaciones por pares en total. En esta ocasión, se obtuvo un total de 13 encuestas, lo que supuso el 10,1% de participación. Las categorías que presentaron un mayor índice de participación fueron la académicos y operadores de plantas de tratamiento, ambas con el 46,2% de las respuestas. Desde el punto de vista de la nacionalidad, sólo un experto internacional respondió a la encuesta en esta segunda fase.
- Determinación de la prioridad del factor local por escenario. A partir de las respuestas proporcionadas por los expertos se obtuvieron las matrices de comparación por pares, para cada grupo de factores y para cada escenario, lo que permitió obtener el vector de prioridad local con el que se determinó la prioridad del factor local por cada escenario, tal y como se recoge en la Tabla IV. A continuación se hace un análisis por categoría de factores.

**Tabla IV.** *Prioridad del factor local y posición para cada factor, por categoría y escenario*

| Categoría | | | Prioridad del factor local | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Escenario 1 | Escenario 2 | Escenario 3 |
| Fortalezas | $F_a$ | Valor | 0,125 | 0,108 | 0,170 |
| | | Posición | 5º | 5º | 4º |
| | $F_b$ | Valor | 0,182 | 0,150 | 0,107 |
| | | Posición | 3º | 4º | 5º |
| | $F_c$ | Valor | 0,239 | 0,242 | 0,246 |
| | | Posición | 2º | 2º | 2º |
| | $F_d$ | Valor | 0,281 | 0,267 | 0,286 |
| | | Posición | 1º | 1º | 1º |
| | $F_e$ | Valor | 0,173 | 0,233 | 0,191 |
| | | Posición | 4º | 3º | 3º |
| Debilidades | $D_a$ | Valor | 0,244 | 0,339 | 0,338 |
| | | Posición | 2º | 1º | 1º |
| | $D_b$ | Valor | 0,320 | 0,150 | 0,190 |
| | | Posición | 1º | 4º | 3º |
| | $D_c$ | Valor | 0,149 | 0,160 | 0,132 |
| | | Posición | 4º | 3º | 5º |
| | $D_d$ | Valor | 0,080 | 0,090 | 0,147 |
| | | Posición | 5º | 5º | 4º |
| | $D_e$ | Valor | 0,207 | 0,260 | 0,193 |
| | | Posición | 3º | 2º | 2º |
| Oportunidades | $O_a$ | Valor | 0,259 | 0,207 | 0,202 |
| | | Posición | 1º | 3º | 2º |
| | $O_b$ | Valor | 0,221 | 0,214 | 0,253 |
| | | Posición | 3º | 2º | 1º |
| | $O_c$ | Valor | 0,151 | 0,152 | 0,194 |
| | | Posición | 4º | 5º | 3º |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $O_d$ | Valor | 0,229 | 0,206 | 0,175 |
| | | Posición | 2º | 4º | 5º |
| | $O_e$ | Valor | 0,139 | 0,220 | 0,177 |
| | | Posición | 5º | 1º | 4º |
| Amenazas | $A_a$ | Valor | 0,098 | 0,203 | 0,165 |
| | | Posición | 5º | 2º | 3º |
| | $A_b$ | Valor | 0,109 | 0,129 | 0,152 |
| | | Posición | 4º | 4º | 4º |
| | $A_c$ | Valor | 0,173 | 0,116 | 0,118 |
| | | Posición | 3º | 5º | 5º |
| | $A_d$ | Valor | 0,261 | 0,188 | 0,260 |
| | | Posición | 2º | 3º | 2º |
| | $A_e$ | Valor | 0,359 | 0,363 | 0,305 |
| | | Posición | 1º | 1º | 1º |

- Fortalezas. Se puede observar que en los tres casos el factor que genera una ventaja competitiva sobre el resto ha sido el *beneficio económico y ecológico derivado del uso de los residuos orgánicos* ($F_d$), que ha obtenido el valor de prioridad local más elevado, seguido del que contempla *la posibilidad de valorización y/o reciclaje de estos residuos* ($F_c$). Desde el punto de vista ambiental, los tres escenarios considerados permiten transformar una amplia variedad de desechos con un impacto ambiental relativamente bajo en comparación con la eliminación en vertedero o la incineración. La obtención de compost disminuye el uso de fertilizantes químicos y pesticidas necesarios en la agricultura, reduciendo así el consumo de materias primas pero también la contaminación ambiental derivada de su aplicación; además su uso actúa como agente supresor frente diferentes enfermedades en cultivos y juega un papel en el secuestro de carbono debido a que la materia orgánica que contiene, tras su aplicación, no se mineraliza, sino que queda retenida en el suelo. Si se captura el biogás generado en la digestión anaerobia de los residuos orgánicos para producir energía, su combustión tiene un impacto en los GEI 21 veces menor; además el $CO_2$ producido en la misma proviene de la biomasa y, por lo tanto, no se tiene en cuenta en el balance final a la hora de cuantificar las emisiones en actividades de gestión de residuos, a lo que hay que unir las emisiones evitadas de $CO_2$ que se habrían generado al producir una cantidad de energía equivalente a partir de combustibles fósiles. Desde el punto de vista económico la producción de un biogás (escenarios 2 y 3) ha demostrado ser una valiosa fuente de energía alternativa y sostenible a escala mundial en motores de combustión interna, procesos de cogeneración y venta de energía térmica para ciudades o usos industriales. La energía eléctrica a partir del biogás no es competitiva en el mercado de la electricidad gratuita en la mayoría de los casos por lo que el uso del biometano como sustituto renovable de gas es una alternativa que progresivamente va tomando más relevancia. Finalmente, en el caso de los tres escenarios, las fortalezas que han obtenido un valor más bajo han sido *la utilización de recursos disponibles como insumo* ($F_a$) y la *posibilidad de utilizar otros residuos de materia orgánica (residuos agrícolas, cultivos energéticos y residuos orgánicos industriales) junto con la fracción orgánica de los residuos municipales como co-insum*o ($F_e$) y *la existencia de tecnología disponible para llevarlo a cabo* ($F_b$). Estos resultados ponen de manifiesto, por un lado, la disponibilidad de insumos que garantiza el funcionamiento de los sistemas, así como el hecho que las tecnologías para el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos se consideran consolidadas.
- Debilidades. En este caso las barreras que pueden afectar a la buena marcha de las alternativas propuestas son factores que se relacionan con la viabilidad económica de las instalaciones, ligada, a variables como la tecnología aplicada o el beneficio obtenido a

partir de los subproductos (compost y electricidad o biometano, dependiendo del escenario considerado). Así, la estabilización biológica de la materia orgánica para la obtención de compost (escenario 1) presenta como debilidad más importante *los bajos ingresos de las ventas del compost, que podrían no cubrir los costos* ($D_b$), seguida de los posibles *altos costes de inversión y operación* ($D_a$). En el caso de la biometanización para producción de electricidad, así como su inyección en red (escenarios 2 y 3 respectivamente), la debilidad más importante ha sido los *altos costes de inversión y operación* ($D_a$); le sigue, también en ambos escenarios, la *distancia entre el punto de producción y el de uso* ($D_e$). En términos generales, la viabilidad económica de las diferentes técnicas de estabilización de la materia orgánica depende de parámetros como: la tecnología aplicada, el volumen de producción, las instalaciones y equipos existentes, las materias primas, mano de obra, costes de mantenimiento, los precios de los subproductos, así como la distancia desde el lugar en el que se genera la materia orgánica y las plantas de tratamiento, y la distancia entre éstas y el lugar en el que se utilizan estos subproductos (compost, energía y biometano). Los estudios demuestran que el compostaje por vía aerobia suele tratarse de un proceso sostenible en términos de aspectos económicos, ya que implican costos operativos más bajos en comparación con otras opciones tratamiento, debido a la baja complejidad técnica y los requisitos de capital. Sin embargo, el compostaje es también un proceso que consume tiempo y necesita espacio para su ubicación; además la exigencias necesarias para garantizar la obtención de un compost con unas propiedades finales adecuadas que den un valor al producto final es fundamental la composición química de la materia orgánica utilizada así como la configuración de los parámetros de compostaje. Esto implica, cada vez más, la necesidad de aplicar tecnologías avanzadas que reducen el tiempo de compostaje y mejora la calidad del compost, pero incrementa también los costes de inversión, de mantenimiento y operación. En el caso de tratamientos de biometanización, que permiten la obtención de energía, aunque se genera un digestato que puede ser también sometido a compostaje, se persigue fundamentalmente la producción de un biogás para producción de energía, no sólo por las ventajas económicas que reporta, sino por los efectos ambientales positivos derivados del uso de la misma, tal y como se ha indicado en el apartado relativo a fortalezas. No obstante, a pesar de las ventajas que reporta desde el punto de vista económico, estos procesos presentan también unos costes de instalación, explotación y mantenimiento mayores que los del compostaje aerobio que son necesarios optimizar. Si la discusión se centra en el mercado potencial de subproductos, el compost obtenido en el escenario 1 permite mejorar la disponibilidad de materia orgánica y contenido de nutrientes en el suelo y, por lo tanto, aumentar el valor agrícola de los desechos cuando se usan como fertilizantes, al tiempo que contribuye a una economía más "bio" basada en la economía circular. Sin embargo los problemas tecnológicos, de costo y disponibilidad limitan el uso de fertilizantes orgánicos en muchos casos, junto a los problemas de aplicación derivados de los marcos legales, es decir, existen barreras tanto de la oferta como de la demanda. Los esfuerzos por integrar productos de compost en el mercado se ven obstaculizados por la falta de información sobre las preferencias de los potenciales consumidores. Algunas de las barreras que se han identificado para el uso de fertilizantes orgánicos en la agricultura han sido: el olor desagradable para los vecinos, incertidumbre en el contenido de nutrientes y dificultad en la planificación y el uso, desconocimiento del producto, falta de adecuación a las exigencias del cliente, malas experiencias y la distancia a las plantas de compostaje; en consecuencia se puede afirmar que es necesaria una combinación de medidas dirigidas por una combinación de actores de la industria y del gobierno para eliminar las barreras tecnológicas a la conveniencia del producto, aumentar la

disponibilidad del producto procesado a distancias asequibles y mantener un precio bajo para los usuarios finales. La industria del biogás se ha desarrollado en mercados de producción primada, ya sea para la generación eléctrica, uso de calor o vertido de biometano a la red de gas natural, aunque su viabilidad está ligada al tipo de materia orgánica utilizada; en todo caso se observa la necesidad de reducir los costes de inversión y operación si se busca la expansión económicamente sostenible del sector, además de que el precio de venta del biometano sea subsidiado para ayudar a los proyectos a alcanzar el punto de equilibrio. Finalmente, las debilidades que han obtenido un valor más bajo han sido *la escasa implantación de estas tecnologías* ($D_d$) y *la posible infrautilización de la capacidad de la planta, por ejemplo debido a la falta de insumos* ($D_c$). Estos resultados ponen de manifiesto, tal y como ya se ha explicado en el apartado de fortalezas la amplia implantación de tecnologías, así como la disponibilidad de recursos que sirvan como insumos para su funcionamiento.

- Oportunidades. Se puede observar que la situación externa que más efectos positivos tendrá se refiere a *sus efectos sobre el cambio climático* ($O_a$), *la descarbonatación* ($O_e$) y *la búsqueda de la reducción de la dependencia de otros recursos naturales* ($O_b$) se encuentran en primer y/o segundo lugar en los tres escenarios. Estos resultados ponen de manifiesto que los beneficios que se generan en el entorno están relacionados con su contribución positiva sobre el cambio climático, especialmente cuando se utiliza como fuente renovable de energía en el caso de los escenarios 2 y 3. La aplicación de compost contribuye a reducir las emisiones de GEI debido su capacidad para fijar el carbono en el suelo; además se trata de una solución con un potencial de calentamiento global más bajo en comparación con otras soluciones, como la eliminación en vertedero. A pesar de ello, las compensaciones de carbono no se consideran en el caso del reciclaje de nutrientes para producir compost a partir de desechos orgánicos hasta el momento; solo han sido aprobadas para evitar la formación de metano a partir de residuos en vertederos. En consecuencia los citados efectos positivos sobre el cambio climático son más relevantes en la producción de biogás a partir de la materia orgánica ya que contribuye a la descarbonización de la energía debido a que permite migrar hacia el uso de energías más limpias reduciendo el uso de combustibles fósiles y, en consecuencia, las emisiones de $CO_2$. En este sentido el uso del biogás procedente de la biometanización de la fracción orgánica para la producción de electricidad (escenario 2) se presenta como una oportunidad para la descarbonización del sector, de hecho alcanza el valor más elevado de prioridad local con un valor de p=0,22, además de permitir la reducción de la dependencia de otros recursos naturales, oportunidad que ocupa el segundo lugar. Se destaca en el caso del escenario 1 la oportunidad que presenta esta tecnología en el desarrollo de proyecto para áreas locales e incremento de la creación de valor a nivel regional ($O_d$), que con un valor de p=0,229, ocupa el segundo puesto. En los escenarios 2 y 3 sin embargo esta oportunidad ocupa el 4º y 5º puesto respectivamente. Esto es debido a que en el primer caso el único subproducto generado es el compost, mientras que en los procesos de biometanización es el aprovechamiento energético el fin principal, es decir, es un subproducto más valorado frente a la obtención de un digestato que podría ser compostado; de hecho la oportunidad de la descarbonización ($O_e$) es la oportunidad menos valorada en el escenario 1 (p=0,139). Finalmente cabe destacar que la oportunidad $O_c$, ocupa en los tres escenarios los puestos más bajos, estando en 4º o 5º lugar. Los expertos valoran que *la política europea sobre economía circular* tiene un bajo efecto en cuanto a favorecer la implantación de estas tecnologías. La economía circular ofrece un marco conceptual innovador y coherente para repensar, rediseñar y reestructurar el modo operativo de la economía industrial lineal dominante. El Diario Oficial de la Unión Europea publicó en el mes de mayo de 2018 las nuevas directivas del

paquete de economía circular y entre las que se encuentran la Directiva 2018/851 por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos y la Directiva 2018/850 por la que se modifica la Directiva 1999/31/CE relativa al vertido de residuos. Con este nuevo marco legal la gestión de residuos en la Unión debe mejorarse y transformarse en una gestión sostenible de las materias con miras a proteger, preservar y mejorar la calidad del medio ambiente, así como a proteger la salud humana, garantizar la utilización prudente, eficiente y racional de los recursos naturales, mejorar el uso de la energía renovable, aumentar la eficiencia energética, reducir la dependencia de la Unión de los recursos importados, crear nuevas oportunidades económicas y contribuir a la competitividad a largo plazo. Por todo lo indicado, la opinión de los expertos podría ser debida a la reciente aprobación del paquete de medidas puestas en marcha por la Unión Europea, y que debe entrar en vigor antes del 5 de julio de 2020; en consecuencia todavía es necesaria una concienciación en cuanto a la modificación del modelo productivo ya que, aunque no se encuentra en el punto inicial, su implantación se prevé lenta.

- Amenazas. Se puede observar que la situación negativa externa que más puede atentar contra ellos, desde el punto de vista de los expertos consultados, se refiere a los *posibles cambios normativos en materia energética y/o de gestión de residuos* ($A_e$); este resultado pone de manifiesto la preocupación por la aprobación de normativas que puedan afectar a prácticas destinadas al aprovechamiento de los residuos, en cuyo caso puede ser necesario diseñar una estrategia adecuada para poder sortearlas. En este sentido, los cambios legislativos bruscos, sin ninguna norma transitoria, producen desconcierto y desaliento de las inversiones, así como la posibilidad de que se vea muy resentida la capacidad de atraer inversiones en un sector con un valor añadido en I+D+i. Este es el caso de la política energética, en la que muchas de las decisiones que se adoptan exigen años de maduración y puesta en práctica, por lo que los cambios en la orientación en función de los vaivenes políticos generan unas ineficiencias que elevan el coste del servicio y perjudican la competitividad. Esta situación externa negativa queda reforzada por la opinión de los expertos en cuanto a la amenaza que ha sido seleccionada en segundo lugar en el caso del escenario 2, por *la dependencia de las tarifas de las decisiones políticas* ($A_a$). Se pone de manifiesto la preocupación por el beneficio obtenido en cuanto a la venta de energía eléctrica que este escenario plantea. Por el contrario, en el caso del escenario 3 esta amenaza ha obtenido un valor de prioridad que la ubica en 3º lugar. Esto es debido a que su distribución en la red de gas natural le da una mayor flexibilidad de uso, pudiéndose utilizar para diferentes aplicaciones como combustible de vehículos, calefacción o convertirse en unidades de cogeneración, por lo que el efecto de las tarifas podría ser menor. En el caso de los escenarios 1 y 3, la segunda amenaza identificada se refiere a los grandes obstáculos administrativos que suponen los requisitos legales, técnicos y de seguridad para el permiso, construcción y operación de las instalaciones ($A_d$). En este caso no hay una venta directa de electricidad, por lo que son los aspectos relacionados con la ubicación de las instalaciones los que genera una mayor incertidumbre. Las técnicas de compostaje están ampliamente desarrolladas por lo que los criterios de ubicación, diseño, operación y marco legal de este tipo de instalaciones es conocido. No obstante la limitación que en algunas ocasiones este tipo de instalaciones puede ocasionar suele estar relacionada con la oposición de la población a su construcción, por los problemas que pueden generar. En el caso del escenario 3, la inyección de gas procedente de fuentes renovables está apoyada por la Unión Europea que establece, a través de la legislación que los Estados miembros, un marco normativa para facilitar la inyección directa en la red de gas (Directiva 2009/73/CE, Directiva 2009/28/CE, Reglamento 994/2010). No obstante,

algunas lagunas de conocimiento sobre estos aspectos podría ocasionar problemas para obtener las autorizaciones pertinentes. Finalmente, en el caso del escenario 1 la amenaza que menos preocupa a los expertos ha sido *la dependencia de las tarifas de las decisiones políticas* ($A_a$). Esto es debido a que en este escenario el único subproducto generado es el compost cuyos precios finales depende de criterios de viabilidad, más que de posibles regulaciones de decisiones políticas. No obstante, el apoyo a iniciativas que fomenten la producción y el uso de fertilizantes orgánicos son fundamentales para reducir su coste y conseguir así un mayor

- Análisis de la prioridad global de los factores analizado. Para determinar la prioridad de factor global en primer lugar se ha procedido a calcular, en función de la valoración obtenida por los factores en las diferentes categorías, la ponderación para cada una de ellas ($W_F$, $W_D$, $W_O$ y $W_A$) con la que se determinó la prioridad global de los factores en cada escenario (Tabla V). Se puede observar que, en términos generales, las debilidades y amenazas son más importantes que las fortalezas y oportunidades en los tres escenarios, sin los expertos se hayan decantado por uno de ellos. Es decir, la valoración global que dan los expertos es similar para las tres alternativas analizadas. De forma particular en el caso de los escenarios 1 y 2 el factor con mayor valor global es el la amenaza $A_e$, *posibles cambios normativos en materia energética y/o de gestión de residuos*, seguido de la fortaleza $F_d$, *el beneficio económico y ecológico del uso de residuos orgánicos*, el tercer puesto está ocupado por la $O_a$, *efectos positivos sobre el cambio climático*, y la $D_a$, *altos costes de inversión y explotación*, respectivamente. En el caso del escenario 3, el factor con mayor valor global es la $F_d$, seguido de la amenaza $A_e$ y la $D_a$. Los factores con menor valor global han sido asignados por los expertos a las debilidades $D_d$, *la escasa implantación de las tecnologías*, para los dos primeros escenarios y $D_c$, *posible infrautilización de la capacidad de la planta*, en el tercero.

**Tabla V.** *Prioridad del factor global y posición para cada factor por escenario*

| Categoría | Factores | Prioridad de factor global | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Escenario 1 | | Escenario 2 | | Escenario 3 | |
| | | Valor | Posición | Valor | Posición | Valor | Posición |
| Fortalezas ($W_F$ =0,2743) | $F_a$ | 0,034 | 16º | 0,030 | 18º | 0,047 | 13º |
| | $F_b$ | 0,050 | 10º | 0,041 | 14º | 0,029 | 19º |
| | $F_c$ | 0,065 | 5º | 0,066 | 4º | 0,067 | 5º |
| | $F_d$ | 0,077 | 2º | 0,073 | 2º | 0,078 | 1º |
| | $F_e$ | 0,048 | 11º | 0,064 | 5º | 0,052 | 10º |
| Debilidaddes ($W_D$ =0,2135) | $D_a$ | 0,052 | 9º | 0,072 | 3º | 0,072 | 3º |
| | $D_b$ | 0,068 | 4º | 0,032 | 16º | 0,041 | 14º |
| | $D_c$ | 0,032 | 17º | 0,034 | 15º | 0,028 | 20º |
| | $D_d$ | 0,017 | 20º | 0,019 | 20º | 0,031 | 17º |
| | $D_e$ | 0,044 | 12º | 0,056 | 9º | 0,054 | 8º |
| Oportunidades ($W_O$ =0,2683) | $O_a$ | 0,070 | 3º | 0,056 | 8º | 0,068 | 4º |
| | $O_b$ | 0,059 | 8º | 0,057 | 7º | 0,052 | 9º |
| | $O_c$ | 0,041 | 14º | 0,041 | 13º | 0,047 | 12º |
| | $O_d$ | 0,062 | 7º | 0,055 | 10º | 0,047 | 11º |
| | $O_e$ | 0,037 | 15º | 0,059 | 6º | 0,054 | 7º |
| Amenazas ($W_A$ =0,2439) | $A_a$ | 0,024 | 19º | 0,050 | 11º | 0,040 | 15º |
| | $A_b$ | 0,027 | 18º | 0,032 | 17º | 0,037 | 16º |
| | $A_c$ | 0,042 | 13º | 0,028 | 19º | 0,029 | 18º |
| | $A_d$ | 0,064 | 6º | 0,046 | 12º | 0,063 | 6º |
| | $A_e$ | 0,088 | 1º | 0,089 | 1º | 0,074 | 2º |

- Determinación del grado de consistencia. Finalmente, se ha procedido al cálculo de la consistencia para con la finalidad de conocer, en términos de la calidad de la decisión final,

los juicios obtenidos a partir de la serie de comparaciones pareadas. Los valores obtenidos para la Relación de Consistencia (RC) han sido en todos los caso menores de 0,10, por tanto, la consistencia es razonable, es decir el proceso de decisión ha sido adecuado.

## 4. CONCLUSIONES

El análisis DAFO+AHP ha permitido concluir que las medidas impulsadas tras la aprobación de normativas europeas como la Directiva 31/99, de vertederos, y la Directiva 98/2008, marco de residuos, han dado lugar al desarrollo de tecnologías dirigidas a la recuperación de la FORM, para su valorización y/o reciclaje, entre las que destacan la producción de compost para su aplicación en la agricultura y la obtención de energía, tanto a partir de biogás como de biometano. La obtención de estos subproductos implica una fuente de ingresos que permite reducir el canon, así como un conjunto beneficios ambientales, entre los que se destacan el menor consumo de materias primas y contaminación procedente de la producción y uso de fertilizantes, los efectos positivos sobre los cultivos así como las emisiones de GEI evitadas por el uso del biogás y el biometano en sustitución de otros combustibles.

La prioridad global de los factores calculada pone de manifiesto una gran similitud en cuanto a las ventajas e inconvenientes de los escenarios analizados, por lo que la consulta a expertos no ha sido concluyente en lo relativo a su cuantificación, es decir no ha permitido seleccionar una de ellas frente a las demás. De hecho que se ven principalmente amenazados por posibles cambios normativos en materia energética y/o de gestión de residuos, además de presentar como fortaleza el beneficio ambiental y el posible beneficio económico derivado del uso de residuos orgánicos; se muestra así la oportunidad de generar efectos positivos sobre el medio ambiente, especialmente el cambio climático, aunque los costes de inversión y explotación pueden afectar a su implantación. Por este motivo, y tal y como se ha observado en el análisis de factores de prioridad local, a pesar de que las tecnologías aplicadas están ampliamente desarrolladas, su implantación debe tener en cuenta una serie de variables que van a contribuir a su viabilidad económica, entre las que se encuentran el beneficio obtenido a partir de los subproductos que no siempre cubre los costes. En el caso de la producción de energía eléctrica a partir del biogás y la inyección de biometano en redes de gas natural, es necesario reducir los costes de inversión y operación si se busca la expansión económicamente sostenible del sector; además en la actualidad se precisa que los gobiernos desarrollen un marco regulador no cambiante que de viabilidad y seguridad a este tipo de proyectos, así como de medidas que bonifiquen, desde el punto de vista económico, acciones destinadas a la obtención de energía a partir de los residuos para hacerlas competitivas con otros procesos productivos menos ventajosos desde el punto de vista ambiental, por su consumo de recursos naturales o la mayor producción de emisiones, pero económicamente más competitivos. Hay que tener en cuenta que las políticas energéticas exigen años de maduración y puesta en práctica, por lo que los cambios en la orientación en función de los vaivenes políticos generan unas incertidumbres e ineficiencias que elevan el coste del servicio y perjudican la competitividad.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo de Nedgia para el desarrollo de este trabajo.

## 6. REFERENCIAS

AMORES, A. et al. (2016). “Un modelo energético sostenible para España en 2050. Recomendaciones de política energética para la transición”. Monitor Deloitte.

BRUDERMANN, T. et al. (2015).: “Agricultural biogas plants – A systematic analysis of strengths, weaknesses, opportunities and threats”. Energy Policy; 76 : 107–111.

CER (2013).: ”Biogas injection into the Natural Gas Grid. Consultation Paper”. Commission for Energy Regulation.

GHAZINOORY S. et al, (2011).: “SWOT methodology: A state-of-the-art review for the past, a framework for the future”. Journal of Business Economics and Management; 12: 24–48.

HOO, P.Y. et al. (2018).: “Opportunities and challenges: Landfill gas to biomethane injection into natural gas distribution grid through pipeline”. Journal of Cleaner Production; 175: 409-419.

KANGAS, J. et al. (2001).: “A’WOT: Integrating the AHP with SWOT analysis”. In Proceedings of the sixth international symposium on the analytic hierarchy process ISAHP.

MILTNER, M. et al. (2017).: “ Review on available biogas upgrading technologies and innovations towards advanced solutions”. Journal of Cleaner Productio; 161 (Suppl. C): 1329-1337.

SAATY, T. (1980).: “The Analytic Hierarchy Process”. McGraw- Hill, New York.

SADLER, D. et al. (2016).: “H21 Leeds City Gate”.Retrieved 17th August 2016, from http://www. Dec2013_GSOK.pdf.

SMYTH, .M. et al. (2010).: “Can grass biomethane be an economi- cally viable biofuel for the farmer and the consumer?”. Biofuels. Bioprod. Bio- refining; 4 (5): 519-537.

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

12:30 - 14:30

**SESIÓN 2 Track B. ENERGÍAS RENOVABLES y SMART GRIDS**

Modera: Eugenia Sillero **GASNAM**

"El biogás en España" **Luis Alberto Sebastián González.** Technical Director **GENIA BIOENERGY**

"Inyección de biometano en la red de gas natural vs compostaje y producción de biogás: un análisis de factores para toma de decisiones" **Montserrat Zamorano Toro.** Responsable Innovación **UNIVERSIDAD DE GRANADA (UGR)**

"Caso de éxito de simuladores para la recuperación de tensión en islas eléctricas. Bases para el digital twin de centrales eléctricas" **Patricia Romero.** Ingeniero de Operación, Responsable Comercial Área Simulación. **TECNATOM**

"Peak-Shaving Application with Energy Storage Systems in Microgrids" **Manuel García Plaza.** Control Algorithms Manager **SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# CASO DE ÉXITO DE SIMULADORES PARA LA RECUPERACIÓN DE TENSIÓN EN ISLAS ELÉCTRICAS.

## BASES PARA EL DIGITAL TWIN DE CENTRALES ELÉCTRICAS

Patricia Romero Martín

tecnatom

aee The Association of Energy Engineers Spain Chapter

# Índice


1 SIMULACIÓN DE PROCESOS, BENEFICIOS Y RETOS

2 PROCESO DE DESARROLLO DE UN MODELO VIRTUAL DE UNA INSTALACIÓN

3 PROYECTO “9 ISLAS ELÉCTRICAS” Y RESULTADOS OBTENIDOS

4 DISCUSIÓN DEL PROCESO Y LECCIONES APRENDIDAS

5 CONCLUSIONES

# ¿Qué es la simulación de procesos?

Es crear un **modelo virtual validado** a través del cual se pueda calcular los posibles resultados de una situación específica a través de la consideración de las diferentes variables que interaccionan en una instalación real.

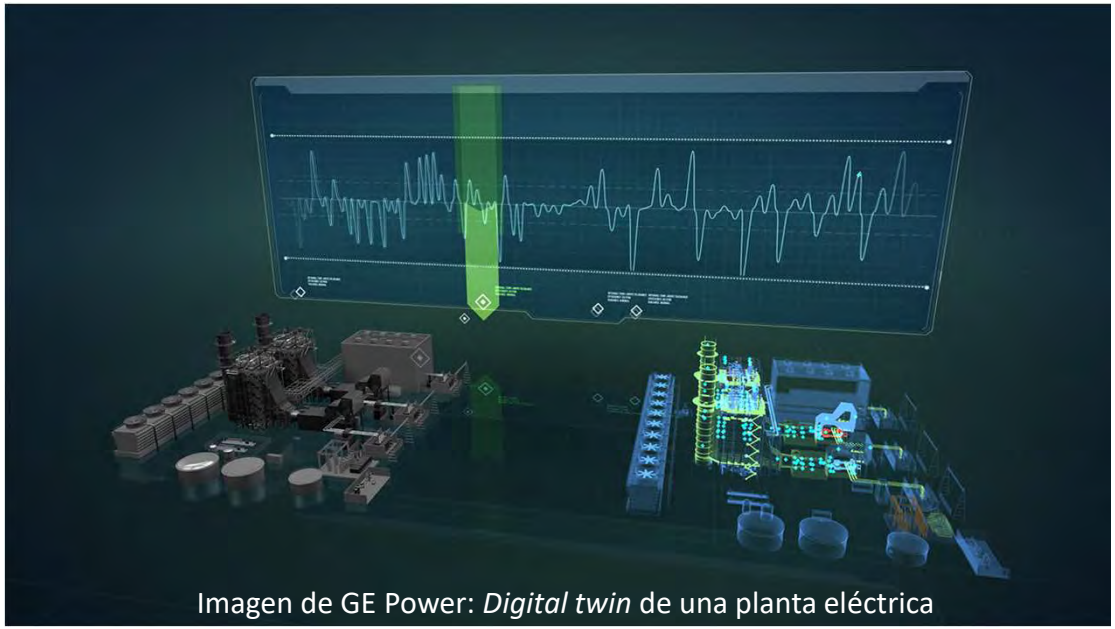
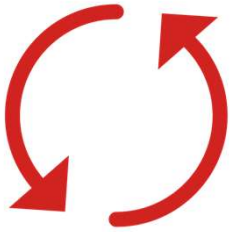


Imagen de GE Power: *Digital twin* de una planta eléctrica

# Beneficios de la simulación de procesos

# Retos de la simulación de procesos

1. **DESARROLLAR UN MODELO VIRTUAL ADECUADO**
2. **VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO**
3. **MANTENIMIENTO DEL MODELO VIRTUAL EN EL TIEMPO**



# Índice

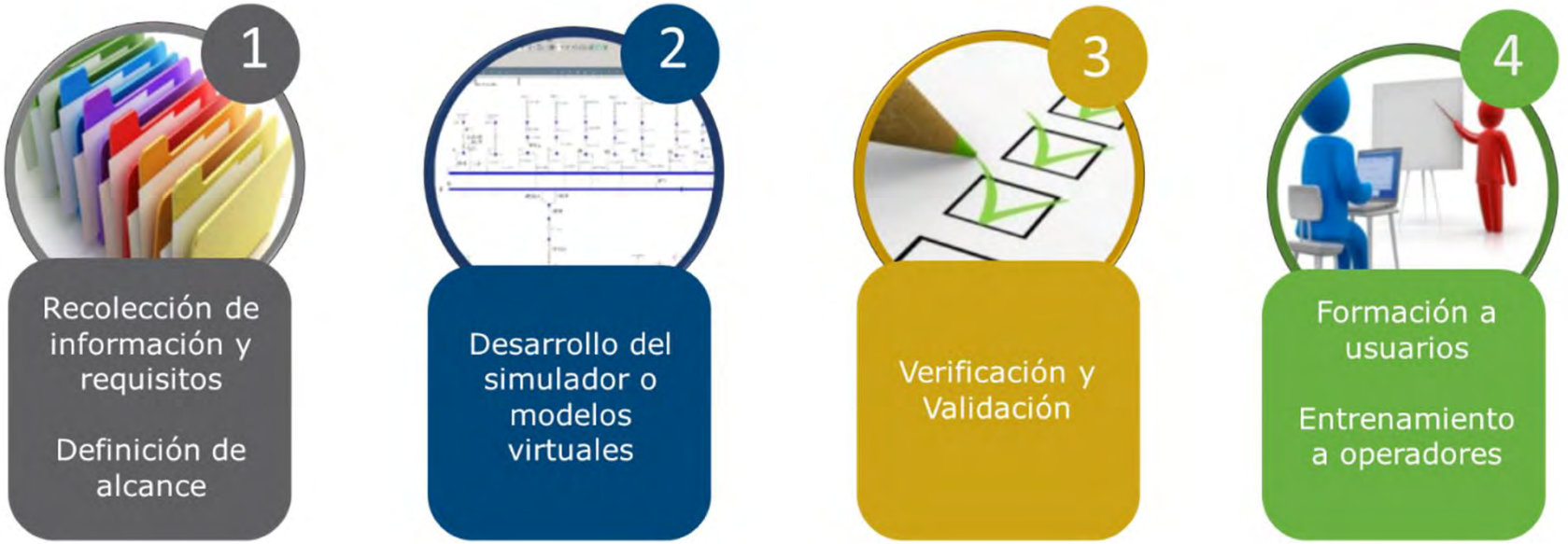

2 PROCESO DE DESARROLLO DE UN MODELO VIRTUAL DE UNA INSTALACIÓN

3 PROYECTO “9 ISLAS ELÉCTRICAS” Y RESULTADOS OBTENIDOS

4 DISCUSIÓN DEL PROCESO Y LECCIONES APRENDIDAS

5 CONCLUSIONES

# Proceso de desarrollo de un modelo virtual



# Proceso de desarrollo de un modelo virtual

Recolección de información y requisitos

Definición de alcance

a) Expectativas y necesidades del cliente

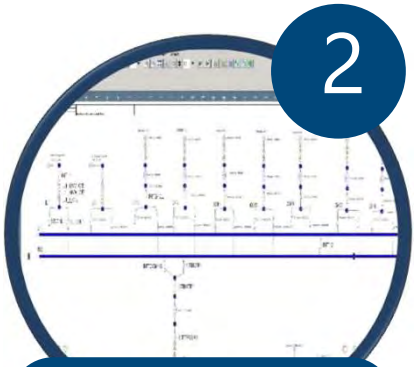
b) Estudio y análisis los procesos industriales involucrados (diagramas de flujo, eléctricos, isométricos y P&IDs).

c) Recolección y análisis de los manuales de operación de autómatas, maquinaria y procedimientos.

d) Recolección de la lógica y control (diagramas lógicos, modelos y marca de autómatas).

e) Descripción técnica y de diseño de los componentes o máquinas (motores, turbinas, válvulas, intercambiadores, materiales tuberías, baterías…)

# Proceso de desarrollo de un modelo virtual




Desarrollo del simulador o modelos virtuales

a) Modelos TH — TRAC_RT | TEAM_FLOW

b) Modelos eléctricos — TEAM_ELECTRIC

c) Modelos lógicos — TEAM_LOGIC

d) Desarrollo de traductores de lenguajes de DCS a código compilable o emulación directa de DCS

e) Desarrollo interfaz de operación (HMI) — TEAM_SKETCH

f) Desarrollo del entorno para interaccionar con la simulación y/o el entrenamiento — TEAM_STATION

# Proceso de desarrollo de un modelo virtual

a) Preparación de los procedimientos de pruebas de aceptación basados en los procedimientos y procesos reales de la planta.

b) Ejecución de las pruebas de aceptación y comparación con datos reales.

c) Ajuste de los modelos y resolución de discrepancias.

d) Pruebas FAT *(Factory Acceptance Tests)*.

e) Pruebas SAT *(Site Acceptance Tests)*.

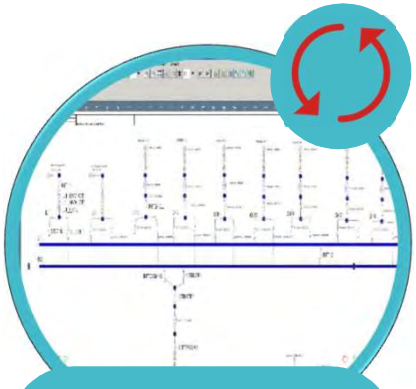
# Proceso de desarrollo de un modelo virtual

a) Formación en el uso y explotación del simulador.

b) Sesiones de entrenamiento a operadores de planta.

c) Sesiones de entrenamiento a ingenieros.

# Mantenimiento y ajustes a lo largo de la vida de la planta



Actualización del modelo virtual con cambios de planta

Incorporación de modificaciones en los modelos soporte del simulador, siguiendo las etapas y actividades anteriores, conforme al programa de incorporación de modificaciones en la propia instalación real.

# Índice


3 PROYECTO “9 ISLAS ELÉCTRICAS” Y RESULTADOS OBTENIDOS

4 DISCUSIÓN DEL PROCESO Y LECCIONES APRENDIDAS

5 CONCLUSIONES

# Centrales de generación aisladas

Son plantas de generación únicas en una red eléctrica, esto es, **no cuentan con el soporte de otras plantas**.

**Son menos estables y seguros** al no poder apoyarse en otras plantas ante picos de demanda o incidentes inesperados.

**Un sistema eléctrico aislado insular, abastecido con combustibles fósiles, presenta costes elevados** por la importación y el transporte de los mismos y de la necesidad de mantener una mayor capacidad de generación eléctrica para asegurar el suministro de forma estable.

**La mejora en la operación y eficiencia aumenta la disponibilidad, reduce el consumo de combustible y de las emisiones de $CO_2$.**

## Proyecto “9 islas eléctricas”

DIGITAL TWIN

Piloto Simulador Central Diésel (2014-2015)

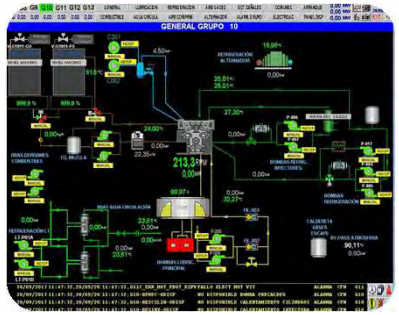
Evaluación de los resultados y beneficios

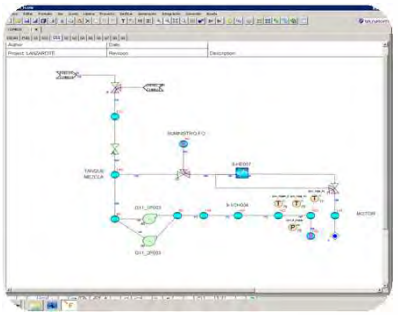
Desarrollo de 8 simuladores con lecciones aprendidas incorporadas

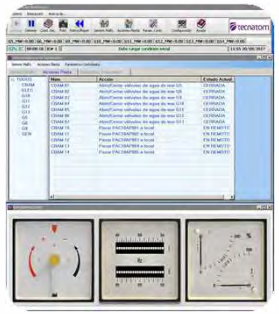
2016- Marzo 2019

2 años de garantía/simulator

# Proyecto de las “9 islas eléctricas”







**Interfaz de operación**

Estimulación de un IFIX SCADA IFIX real y

Sala de Control con paneles virtuales con Team_Sketch®

**Control / Lógica**

Se desarrolló un traductor automático de lenguaje AWL S7 del PLC a Código Fortran compilable en la réplica virtual

**Modelos, Arquitectura y tiempo real**

Usando Team_Suite®, arquitectura robusta que garantice el tiempo real

**Interfaz de interacción con la simulación (Consola)**

Usando Team_Station® / Team_Sketch®

# Resultados del prototipo de las “9 islas eléctricas”

Antes de usar el simulador, el tiempo de recuperación del blackout estaba entre 400-700 minutos.



Después de entrenarse en esta situación el tiempo de recuperación está entre los 70-100 minutos. En torno a un 80% menos.



El beneficio más directo es la reducción del coste social asociado al incidente.

El retorno de la inversión se demostró durante el primer *blackout* tras el uso del simulador.

# Resultados del proyecto de las “9 islas eléctricas”

1. Prototipo de réplica de la central de Los Guinchos en **La Palma**, 12 meses (2015)
2. Réplica de la central de **Ceuta**, 6 meses (2016)
3. Réplica de la central de **Melilla**, 7 meses (2016)
4. Réplica de la central de Las Salinas en **Fuerteventura**, 6 meses (2017)
5. Réplica de la central de Punta Grande en **Lanzarote**, 6 meses (2017)
6. Réplica de la central de El Palmar en **La Gomera**, 6 meses (2017)
7. Réplica de la central de Llanos Blancos en **El Hierro**, 6 meses (2018)
8. Réplica de la central de Mahón en **Menorca**, 6 meses (2018)
9. Réplica de la central de **Ibiza**, 9 meses (2018-2019)

# Índice


4 DISCUSIÓN DEL PROCESO Y LECCIONES APRENDIDAS

5 CONCLUSIONES

# Discusión del proceso y lecciones aprendidas

1. No existen 2 necesidades iguales, ni soluciones ni alcances iguales
2. La clave está en saber qué se quiere conseguir y cubrir con la copia virtual
3. Participación activa del cliente, especialmente alcance y validación
4. Retos tecnológicos
5. Conseguir mantenimiento rápido y asequible
6. Ciberseguridad: Proteger las copias virtuales

# Índice

5 CONCLUSIONES

# Conclusiones

©Jabil Inc. 2018. All Rights Reserved.

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

tecnatom

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# CASO DE ÉXITO DE SIMULADORES PARA LA RECUPERACIÓN DE TENSIÓN EN ISLAS ELÉCTRICAS. BASES PARA EL DIGITAL TWIN DE CENTRALES ELÉCTRICAS.

**Autor(es) de la comunicación: P. Romero[1], C. Lozano[2] y G. Vidal[3]**

1 Tecnatom S.A. Avenida Montes de Oca, 1, 28703 San Sebastián de los Reyes, promero@tecnatom.es
2 Tecnatom S.A. Avenida Montes de Oca, 1, 28703 San Sebastián de los Reyes, mclazaro@tecnatom.es
3 Tecnatom S.A. Avenida Montes de Oca, 1, 28703 San Sebastián de los Reyes, gvidal@tecnatom.es

**Resumen:** Uno de los pilares de la Industria 4.0 es la simulación de procesos, que requiere armar un modelo virtual a través del cual, se puedan calcular los posibles resultados del proceso en cada situación considerando el estado de las diferentes condiciones de contorno.
La simulación de procesos tiene una aplicación en tiempo real llamada Digital Twin, un centro de producción 4.0 donde todas las máquinas y elementos de la producción disponen de una réplica virtual y se comunican entre sí, siendo posible realizar cambios en el mundo virtual y evaluar el impacto de los mismos en tiempo real.
Esto es aplicable también a los centros de producción eléctrica. Un centro de generación inteligente no sólo optimiza los procesos y equipos involucrados, también racionaliza la energía consumida o minimiza el impacto medioambiental, así como garantiza la seguridad del personal.
En este caso particular, se aplica la simulación de procesos a sistemas de generación eléctrica aislados, donde cualquier problema en ellos tiene un mayor impacto social y económico que en un sistema interconectado y soportado por terceros.
El uso de simuladores industriales permite un aumento en la disponibilidad de las centrales y reducción de costes significativa.

**Palabras clave:** simulación de procesos, simulador de alcance total, *virtual commisioning, digital twin*, ingeniería apoyada por simulación**.**

## 1. TEXTO PRINCIPAL

## INTRODUCCIÓN:

Uno de los pilares que soporta la Industria 4.0 es la simulación de procesos. Simular un proceso requiere crear un modelo virtual validado a través del cual se pueda calcular los posibles resultados de una situación específica a través de la consideración de las diferentes variables que interaccionan en la instalación.

Desarrollar dicho modelo virtual es el primer reto de la simulación de procesos. Debe ser lo suficientemente detallado como para asegurar que la copia virtual de nuestro centro de producción 4.0 aporte valor para la toma de decisiones y el análisis de los resultados obtenidos sea fiable.

Otro aspecto importante es el propio proceso de verificación y validación del entorno simulado en sí mismo, mediante la experimentación y la ejecución de diversos escenarios cuyos resultados puedan ser contrastables con los datos y experiencia del mundo real. Este proceso de verificación y validación requiere también de metodología específica pues debe verificar la adecuación del alcance dado, apoyar en la mejora de los modelos virtuales a partir de *inputs* reales o conocer y gestionar sus limitaciones.

Con la correcta aplicación de la simulación en los procesos industriales se obtienen beneficios significativos. A modo de ejemplo, permite implementar modificaciones de diseño en nuestra copia virtual más rápido y menos caro que hacerlo físicamente en los procesos reales, y es más sencillo revertir el proceso en caso de errores de diseño, se pueden validar diseños y equipos previamente a su instalación e incluso compra, pudiendo elegir los componentes más adecuados, probarlos virtualmente sin poner en riesgo los equipos reales y anticiparnos a los imprevistos, o reducir los

errores humanos mediante el entrenamiento del personal. La simulación también puede ayudar al control y previsión de la producción a partir del uso de variables, constantes y particularidades del ciclo productivo, pudiéndose proyectar los volúmenes de producción o de pérdidas en un periodo establecido con el apoyo de datos reales y experimentación. En definitiva, la simulación es una potente herramienta para soportar la toma de decisiones.

Los centros de generación eléctrica, como el resto de sectores, también están en proceso de digitalización para la mejora de la eficiencia, aumento de la disponibilidad y reducción de costes. En ese proceso están optando por ayudarse de la simulación y contratar el desarrollo de modelos virtuales de sus plantas para entrenar a su personal de sala de control y apoyar a la ingeniería de planta en el análisis e implementación de modificaciones de diseño, mediante la instalación previa en el simulador o *digital twin*.

En el caso de los centros de generación eléctrica aislados, sistemas que por sus características geográficas no cuentan con el apoyo de la red de base (normalmente un sistema insular), la disponibilidad, la velocidad en la atención a la demanda eléctrica y la seguridad en la operación son elementos clave para garantizar la calidad del suministro. Este tipo de centrales suelen basarse en combustibles fósiles con precios fluctuantes, por lo que una correcta operación de las centrales reduce los consumos de combustible y las emisiones al medio ambiente. Por último, los operadores deben disponer de herramientas para formarse en las peculiaridades de su red aislada, hasta ser capaces de recuperar de forma rápida y eficaz los incidentes, como pueden ser los *blackouts* o *ceros de tensión*. Es por ello que el explotador de estos centros (ENDESA GENERACIÓN S.A.) encargó a TECNATOM el desarrollo de un prototipo modelo virtual de una de sus plantas, y en función de los resultados obtenidos, extender la experiencia al resto de sus centrales aisladas.

## PRESENTACIÓN RESUMIDA DEL PROCESO, DATOS Y RESULTADOS

El proceso empleado en TECNATOM para el desarrollo del modelo virtual consta, de forma resumida, en las siguientes fases:

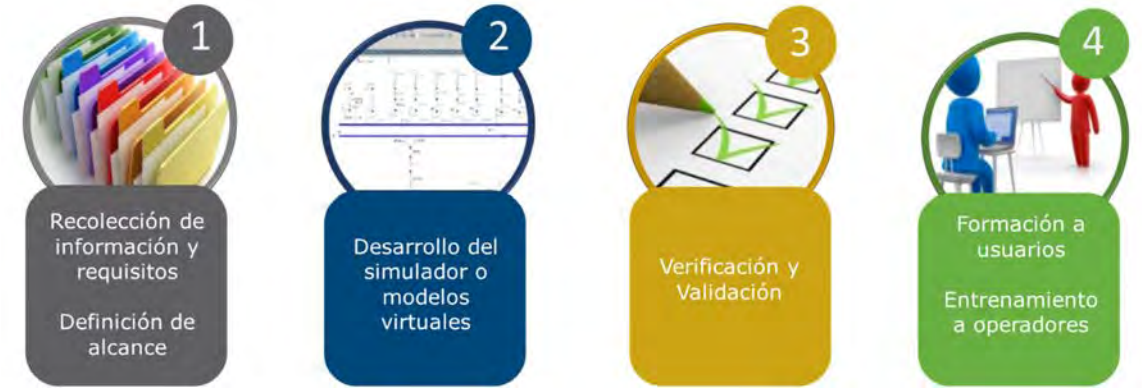



**Figura 1.** *Ciclo de vida de un simulador*

Dentro de cada etapa, se contemplan las siguientes actividades:

1. Recolección de información, requisitos del cliente y definición de alcance:
   a) Identificación de las expectativas y necesidades del cliente a cubrir por el modelo virtual.
   b) Estudio y análisis los procesos industriales involucrados (diagramas de flujo, planos eléctricos, planos isométricos y/o P&IDs).

c) Recolección y análisis de los manuales de operación de autómatas, maquinaria y procedimientos internos o manuales de operación.
d) Recolección de la lógica y control (diagramas lógicos, modelos y marca de autómatas).
e) Descripción técnica y de diseño de los componentes o máquinas (motores, turbinas, válvulas, intercambiadores de calor, materiales tuberías, baterías, etc.).

2. Desarrollo del modelo virtual en función del alcance determinado:
   a) Desarrollo de los modelos termohidráulicos con nuestro *model builder* TEAM FLOW® o el uso de TRAC_RT® como herramienta de alto nivel termohidráulico.
   b) Desarrollo de los modelos eléctricos con nuestro *model builder* TEAM ELECTRIC®.
   c) Desarrollo de los modelos lógicos con nuestro *model builder* TEAM LOGIC®.
   d) Desarrollo del control mediante el desarrollo de traductores a código compilable o la estimulación de los sistemas de control existentes en la instalación real.
   e) Desarrollo de la interfaz de operación (HMI) con TEAM SKETCH®.
   f) Desarrollo del entorno de entrenamiento, necesario para la gestión de las sesiones formativas (gestión de condiciones iniciales, activaciones de malfuncionamientos, tratamiento de maniobras locales y condiciones de contorno) mediante la herramienta TEAM STATION®.

3. Verificación y Validación del modelo virtual:
   a) Preparación de los procedimientos de pruebas de aceptación basados en los procedimientos reales de la planta.
   b) Realización de las pruebas de aceptación y comparación con datos reales.
   c) Ajuste de los modelos y resolución de discrepancias.
   d) Pruebas FAT *(Factory Acceptance Tests).*
   e) Pruebas SAT *(Site Acceptance Tests).*

4. Formación a usuarios o/y operadores de la central:
   a) Formación en el uso y explotación del simulador.
   b) Sesiones de entrenamiento a operadores de planta.

Adicionalmente, y para garantizar que el modelo virtual se ajusta a la realidad a lo largo de la vida de la instalación, se tiene una quinta etapa:

5. Actualización y mantenimiento del simulador para evitar la obsolescencia del *digital twin:* Esta etapa consiste en la incorporación de modificaciones en los modelos soporte del simulador, siguiendo las etapas y actividades anteriores, conforme al programa de incorporación de modificaciones en la propia instalación real.

El proyecto de *"Las 9 islas eléctricas"* en particular tuvo dos fases. La primera consistió en el desarrollo de un prototipo o modelo virtual piloto con fines principalmente formativos en:

- Recuperación de escenarios de pérdida completa de tensión,
- Gestión de incidentes,
- y operación normal para optimizar la eficiencia de la planta.

El prototipo también debía ser suficiente para apoyar a la ingeniería en el diseño de cambios en las lógicas del control.

Posteriormente, una vez evaluado por el cliente el beneficio y el aporte de valor de la inversión, se desarrollarían ocho simuladores más, con un alcance más afinado para cubrir tanto el entrenamiento como el apoyo a la ingeniería de planta.

El prototipo se desarrolló siguiendo la metodología y proceso anteriormente mencionado. La instalación de referencia fue la Central diésel Los Guinchos en La Palma, y se desarrolló en un año siendo un simulador *"first of a kind"* (2014-2015).

El prototipo replica una central diésel 9+1. Consta de nueve grupos diésel convencionales y tres grupos diésel de emergencia, más una turbina de gas *Pratt&Whitney* de 12,6 MW. Se opera desde un SCADA (***S**upervisory **C**ontrol **A**nd **D**ata **A**cquisition*) IFIX de General Electric. La potencia de la central se encuentra repartida en 3 grupos de 4,32 MW, 1 grupo de 5,04 MW, dos grupos de 7,52 MW y 4 grupos de 12,6 MW.

La lógica de control y protección esta implementada en PLCs (**P**rogramable **L**ogic**C**ontroller ) de Siemens en lenguaje AWL S7. TECNATOM desarrolló un traductor automático que convierte ese lenguaje en código Fortran compilable en la réplica virtual.

Adicionalmente, se desarrolló una Consola de Instructor para gestionar la interacción con los modelos virtuales, permitiendo la activación de diferentes fallas que configuran los diferentes escenarios objetos de entrenamiento, así como la ejecución de las maniobras que se realizarían de forma local en la planta real.

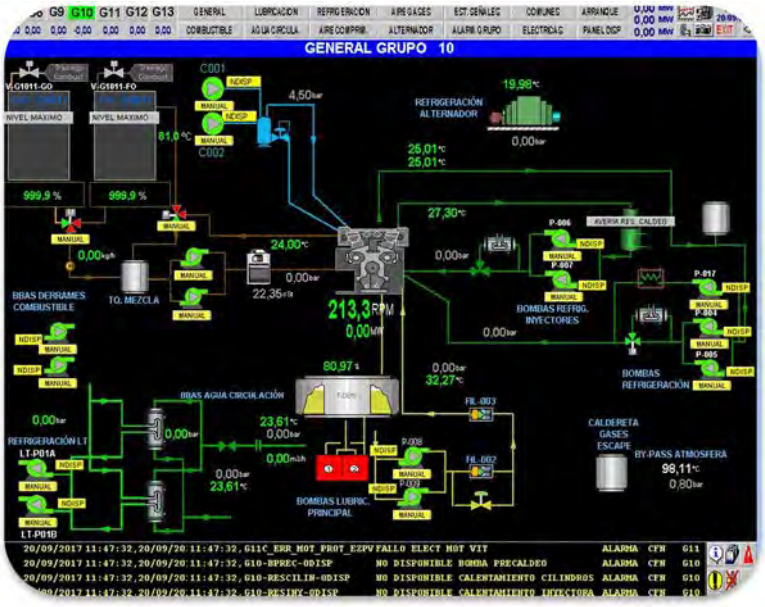



**Figura 2.** *Interfaz de operación realizada mediante la estimulación del IFIX SCADA utilizado en la planta real, que garantiza la fidelidad física (apariencia) y funcional de la interfaz de operación.*

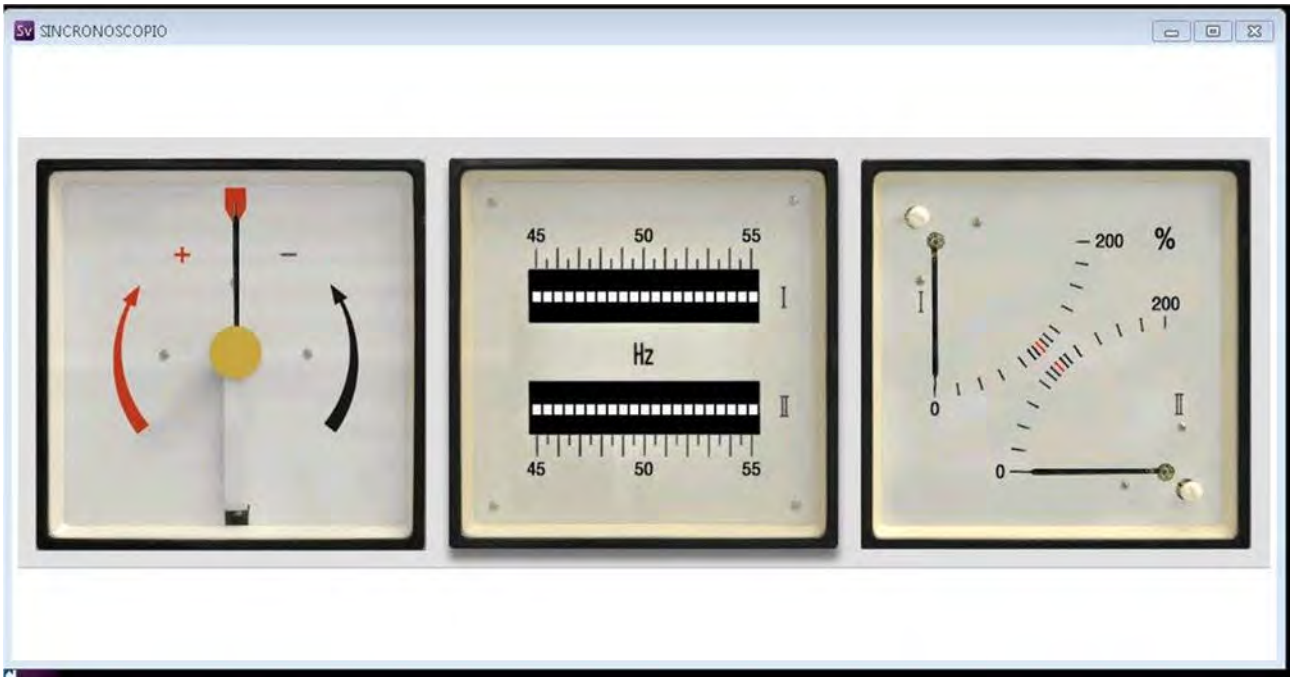



**Figura 3.** *Panel virtual de un sincronoscopio desarrollado con la herramienta TEAM SKETCH®, asegurando la fidelidad física (apariencia) y programando la funcionalidad real mediante la herramienta TEAM LOGIC®*

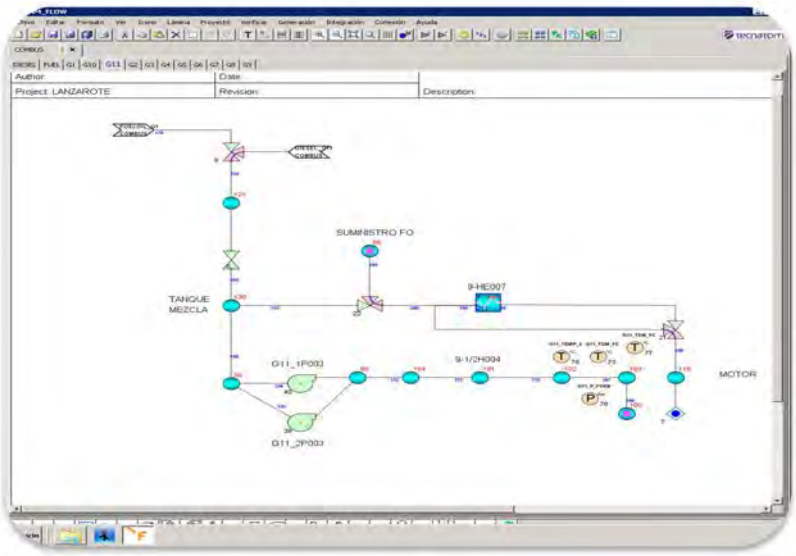



**Figura 4.** *Ejemplo de modelado de un sistema termohidráulico de la planta mediante el model builder TEAM FLOW®, a través de una interfaz gráfica se va diseñando el modelo que posteriormente se traduce automáticamente a código Fortran*

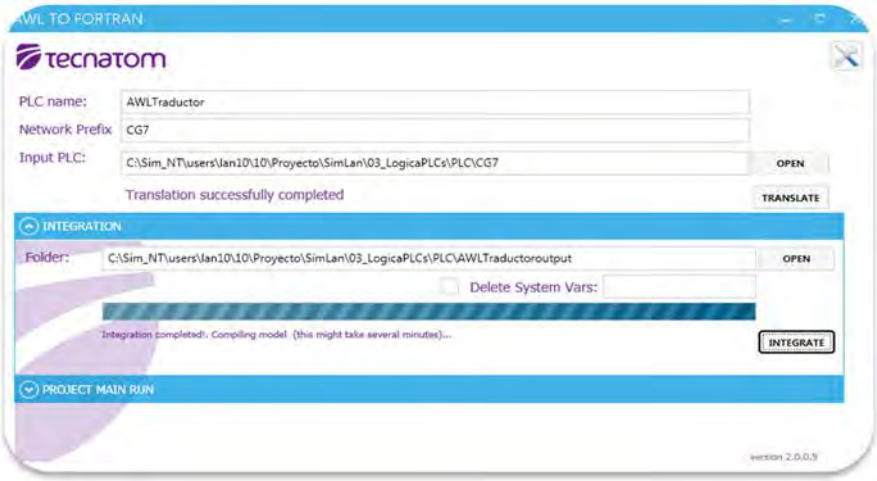



**Figura 5**. *Vista del traductor automático desarrollado para pasar de lenguaje AWL S7 (Siemens) a código Fortran*

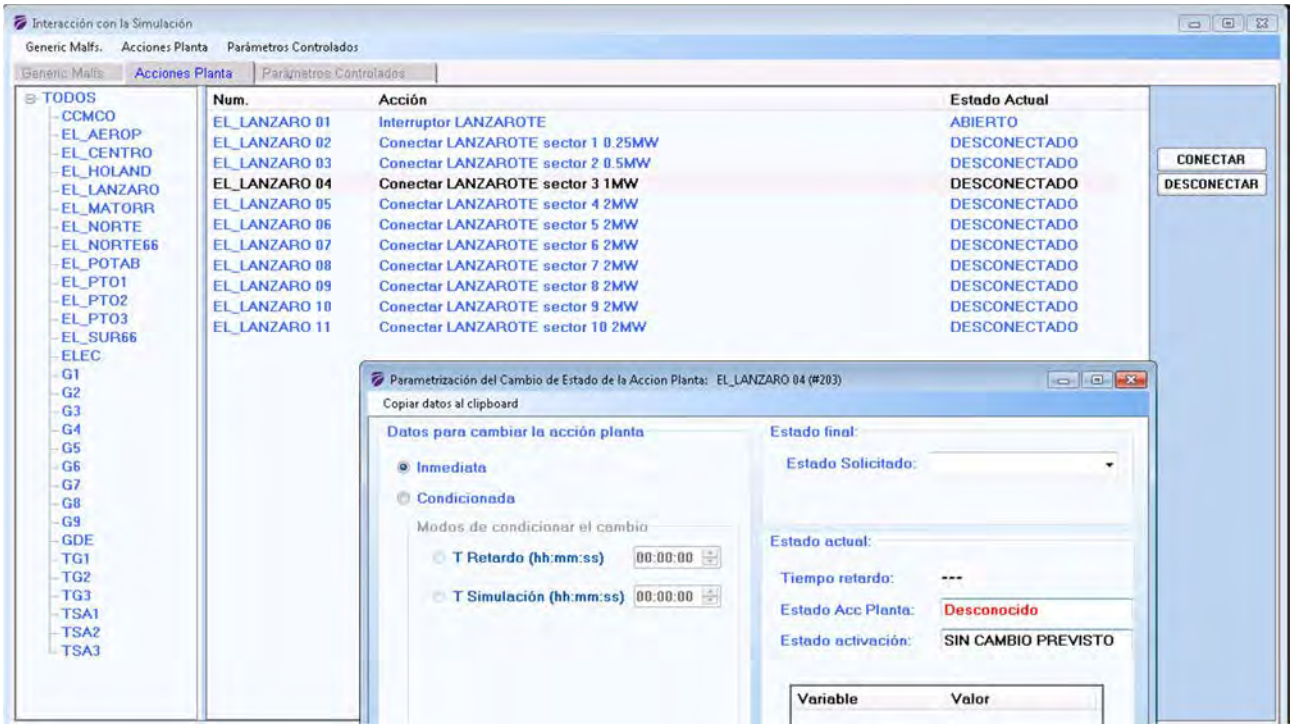



**Figura. 6.** *Vista de una consola del instructor para introducción de condiciones iniciales, fallas y maniobras locales, concretamente para el simulador de Lanzarote.*

Tras la instalación del simulador en la central y la impartición de las primeras sesiones de entrenamiento, se pudo evaluar la utilidad del prototipo en un suceso real de pérdida completa de tensión. Se observó una reducción de los plazos de recuperación del entorno del 80%. Ello supone, de facto, la recuperación sobrada de la inversión ya desde el primer incidente.

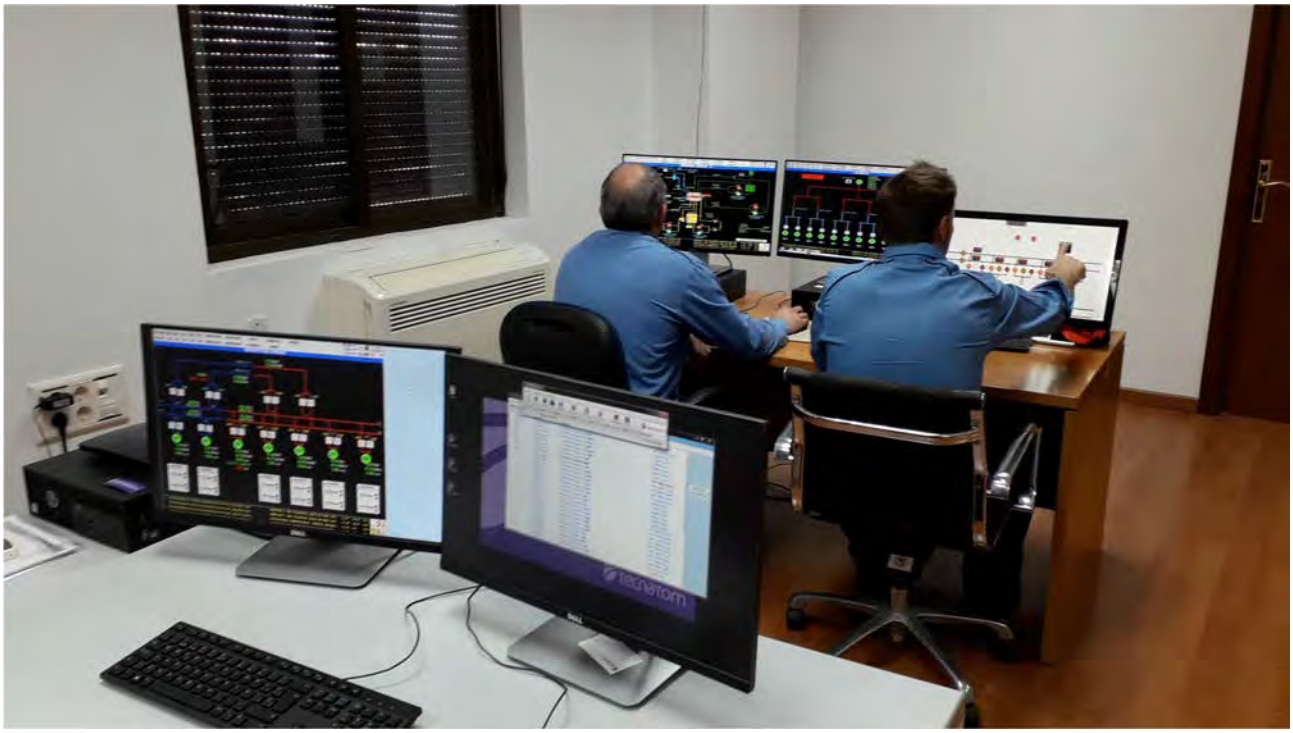


**Figura 7.** *Operadores entrenando en un simulador réplica*

**Figura 8.** *Aporte de valor del simulador réplica en la central diésel de La Palma (Fuente: https://elapuron.com/noticias/economia/112409/las-mejoras-hechas-la-central-los-guinchos-ayudaron-reponer-mayor-celeridad-suministro-tras-nuevo-apagon/)*

Debido al eficiente retorno de la inversión, y los beneficios detectados por el entrenamiento en simulador, ENDESA GENERACIÓN S.A. decidió dar continuidad a la experiencia contratando 8 desarrollos más (una por cada isla eléctrica existente en España). El proceso de desarrollo fue similar al empleado en el prototipo, pero ajustando el alcance de los simuladores según las lecciones

aprendidas. A modo de ejemplo, los paneles de operación físicos existentes en sala de control se han reproducido mediante representaciones virtuales *touchscreen.*

**Figura 9.** *Panel local real de la central diésel de Melilla*

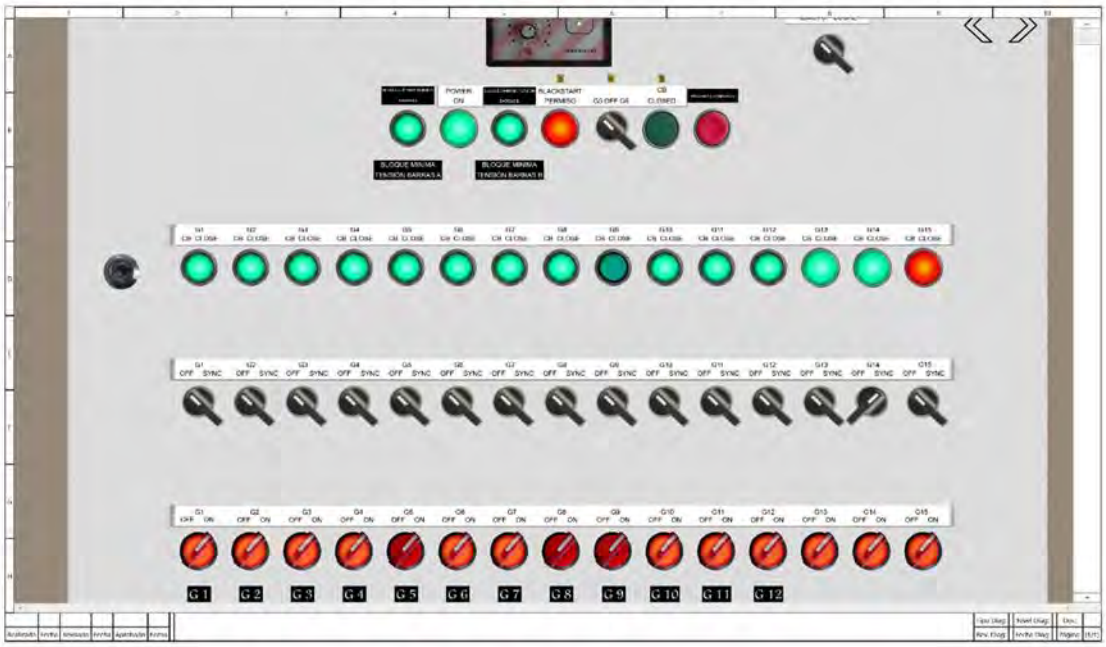



**Figura 10.** *Panel virtual touchscreen realizado para la central de Melilla*

Los desarrollos posteriores, así como la duración del proyecto y año se listan a continuación:

1. Réplica de la central diésel de Ceuta, desarrollado en 6 meses (2016)
2. Réplica de la central diésel de Melilla, desarrollado en 7 meses (2016)
3. Réplica de la central diésel de Las Salinas en Fuerteventura, desarrollado en 6 meses (2017)
4. Réplica de la central diésel de Punta Grande en Lanzarote, desarrollado en 6 meses (2017)
5. Réplica de la central diésel de El Palmar en La Gomera, desarrollado en 6 meses (2017)
6. Réplica de la central diésel de Llanos Blancos en El Hierro, desarrollado en 6 meses (2018)
7. Réplica de la central diésel de Mahón en Menorca, desarrollado en 6 meses (2018)
8. Réplica de la central diésel de Ibiza, desarrollado en 9 meses (2018-2019)

## DISCUSIÓN DEL PROCESO, DATOS Y RESULTADOS

Son muchos los elementos a considerar cuando se planeta un eventual desarrollo de un *digital twin*. La experiencia en Tecnatom es que no existen dos necesidades iguales. No obstante, podemos extraer algunas lecciones de nuestra experiencia en el desarrollo de simuladores para los centros de generación aislados. Una de las claves del éxito del proceso es identificar, desde las fases iniciales del proyecto, cuáles son las expectativas del cliente, en el corto plazo pero también en el largo plazo.

Es importante hacer un estudio previo de lo que se pretende cubrir con la copia virtual y en función de ello definir los requisitos que deberá cubrir, a saber:

- Alcance de los modelos y procesos simulados,
- Alcance de las ecuaciones utilizadas (resolución de ecuaciones, correlaciones obtenidas desde inteligencia artificial, …),
- Interfaz de visualización y de control,
- Calidad de las condiciones de contorno,
- Fiabilidad de los sistemas de control,
- y fidelidad de la interfaz de operación.

En algunos casos no hará falta el ambicioso desarrollo de un gemelo digital total, que replique todos los procesos y componentes. Con frecuencia será suficiente una réplica que reproduzca parcialmente los aspectos esenciales, a modo de hermano pequeño, que replique sólo ciertos comportamientos.

Podrá haber modelos alimentados en tiempo real desde los centros de producción, modelos estáticos alimentados con condiciones iniciales de partida determinadas y fijas, modelos deterministas que resuelvan numéricamente las ecuaciones que gobiernan el proceso físico/químico o modelos que utilicen la inteligencia artificial para su entrenamiento y configuración. Las posibilidades son prácticamente infinitas, pero lo que define la opción más adecuada es el uso esperado por la industria.

Para la definición del alcance, no sólo se necesita de la participación activa del cliente sino también se requiere de personal experto en desarrollo de entornos simulados, y que éstos tengan un conocimiento de los procesos del cliente y una base técnica sólida, y no ser meros programadores. Es por ello, que se debe fomentar y potenciar la programación y familiarización con la simulación, herramientas como la Inteligencia Artificial y el *Big Data* en las Escuelas de Ingeniería, pues sin duda será un perfil muy demandado en la Industria 4.0.

Una vez definido el alcance, se cuenta con el reto tecnológico de virtualizar todos los elementos que se encuentran en el mundo real, sistemas de monitorización, supervisión y control de las instalaciones. En este aspecto sólo la experiencia, la innovación, el *know-how* y las colaboraciones con los suministradores oficiales de estos entornos, podrán resolver este punto crítico en los desarrollos.

Otro punto a considerar y cada vez más demandado por los clientes, es conseguir desarrollar *digital twins* validados y con alcances precisos en cortos períodos de tiempo, y que su actualización sea prácticamente automática, a través de *inputs* reales de planta y mecanismos de integración de cambios en entornos colaborativos (clientes, desarrolladores, suministradores de equipos) y validación automática y fiable de los mismos, manteniendo siempre un control riguroso y administrativo de las versiones.

Otro reto que habrá que cuidar en estas réplicas virtuales, será la ciberseguridad, pues un ataque a las mismas podría poner en riesgo la rentabilidad, estrategia y confidencialidad de la instalación real, así como del suministrador de la misma, al contener datos sensibles de diseños y propiedad intelectual de los mismos.

## CONCLUSIONES

Mediante este caso de éxito hemos intentado destacar el aporte de valor que tiene el uso de la simulación en la industria y potenciar su uso a través de acciones divulgativas como es ésta, creyendo que la actividad que desarrollamos desde TECNATOM son las bases para el uso globalizado de la simulación y *digital twins* en la industria de procesos.

En este caso particular, el objetivo inicial era proporcionar a los operadores herramientas que les permitieran mejorar su familiarización con escenarios degradados y de recuperación especialmente compleja y con un alto impacto social. Los beneficios de la apuesta y el propio retorno económico de la inversión, se hicieron patentes desde los primeros momentos. Pero además, una vez reconocida la fiabilidad de los modelos virtuales, el simulador ha comenzado a ser usado también en el diseño y validación de los cambios en la instalación previos a la implementación real, en la revisión de los procedimientos de operación, e incorporando al personal de ingeniería en el uso del simulador.

Para alcanzar modelos virtuales fiables debe existir un proceso de desarrollo y validación riguroso, así como una cuidada metodología para la actualización y control de versiones. No todo vale para subirse a esta ola. Tener un *digital twin* fiel a la realidad es un proceso continuo, pues los procesos industriales y las instalaciones no son inmutables (hay ensuciamientos, pérdidas de eficiencias, degradaciones, sustitución de componentes, etc.). En la Industria 4.0 será necesario no sólo gestionar el mantenimiento real de la planta, sino también el de su réplica virtual, y esto supondrá una inversión adicional para las empresas, que se deberá retornar vía reducción de accidentes, tiempos y costes.

En TECNATOM, llevamos más de cuarenta años desarrollando simuladores de diferente índole, mayoritariamente simuladores de centrales de generación eléctrica para entrenamiento y apoyo a la ingeniería de la planta o para el *commisioning* virtual (centrales nucleares, ciclos combinados, centrales diésel, termosolares, etc.) pero también ofrecemos simuladores para el resto de industrias. Hemos desarrollado simuladores de la red eléctrica y cabinas, para entrenamiento en la operación de aeropuertos. También ofrecemos soluciones de menor alcance para ajuste de lazos de control

para, por ejemplo, calderas industriales o ajustar el control de fluido termoportador en centrales termosolares.

Pero aún queda mucho por hacer, muchos retos que afrontar, y en muchos sectores en los que penetrar con la simulación de procesos tales como la gestión de residuos para *smartcities* o industria; sector alimenticio o farmacéutico, *oil&gas*, gestión del tráfico; *smart grids*, climatización inteligente, etc.

## 2. AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a ENDESA GENERACIÓN S.A. su confianza y su colaboración en todas las fases del proyecto. La buena sintonía y entendimiento entre el equipo de trabajo y el cliente han hecho posible este caso de éxito.

## 3. REFERENCIAS

RÍOS, S. (1995).: *Modelización*. Alianza Universidad

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

12:30 - 14:30

**SESIÓN 2 Track B. ENERGÍAS RENOVABLES y SMART GRIDS**

Modera: Eugenia Sillero **GASNAM**

"El biogás en España" **Luis Alberto Sebastián González.** Technical Director **GENIA BIOENERGY**

"Inyección de biometano en la red de gas natural vs compostaje y producción de biogás: un análisis de factores para toma de decisiones" **Montserrat Zamorano Toro.** Responsable Innovación **UNIVERSIDAD DE GRANADA (UGR)**

"Caso de éxito de simuladores para la recuperación de tensión en islas eléctricas. Bases para el digital twin de centrales eléctricas" **Patricia Romero.** Ingeniero de Operación, Responsable Comercial Área Simulación. **TECNATOM**

"Peak-Shaving Application with Energy Storage Systems in Microgrids" **Manuel García Plaza.** Control Algorithms Manager **SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# Peak-Shaving Application with Energy Storage Systems in Microgrids

Manuel García Plaza

SIEMENS Gamesa RENEWABLE ENERGY

aee The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice


1 Sistemas con dispositivos de almacenamiento energético

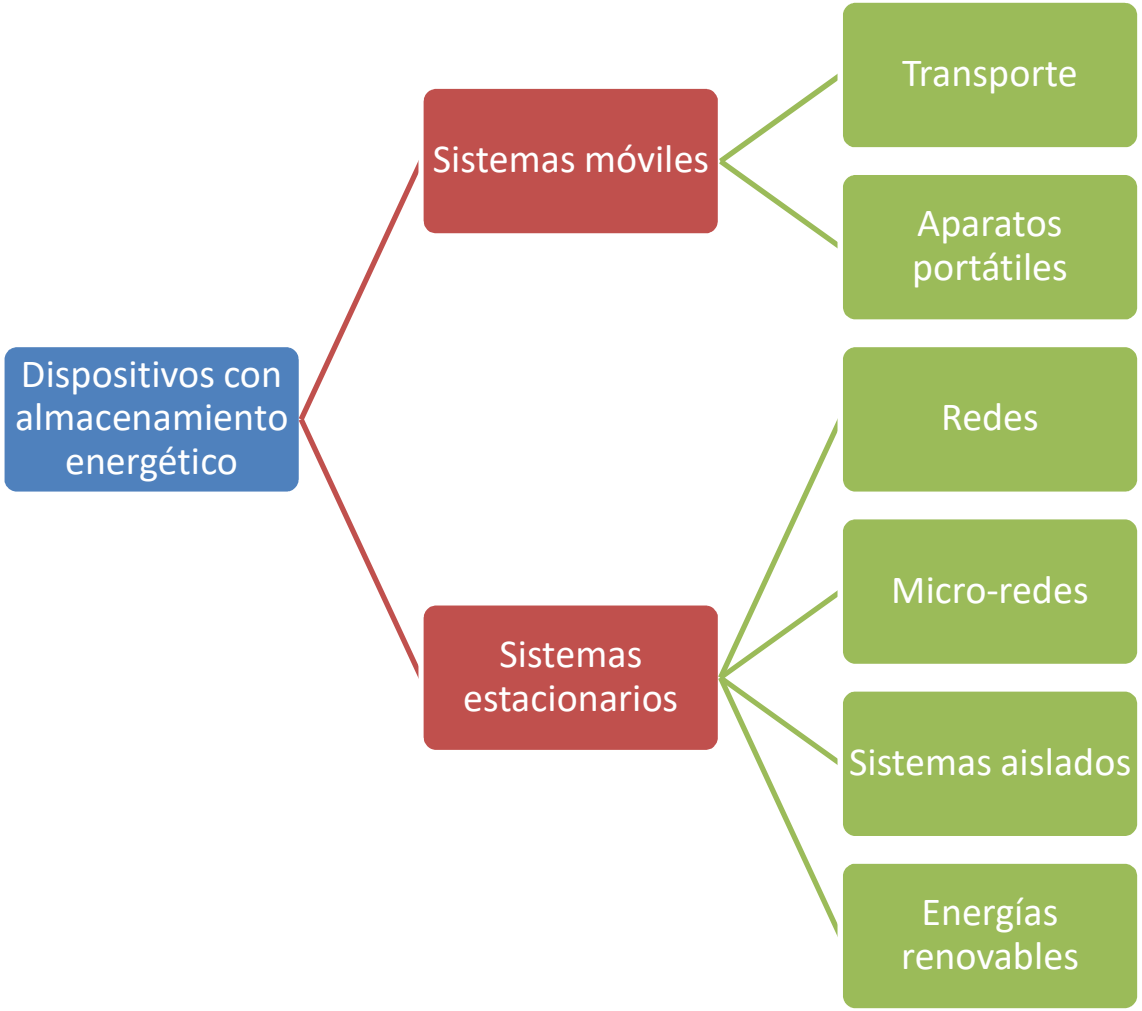
2 Oportunidades de aplicación de los sistemas de acumulación en redes eléctricas

3 Perspectiva de utilidad de los sistemas de almacenamiento en redes eléctricas

4 Reducción de picos de potencia con sistemas de acumulación

5 Conclusiones

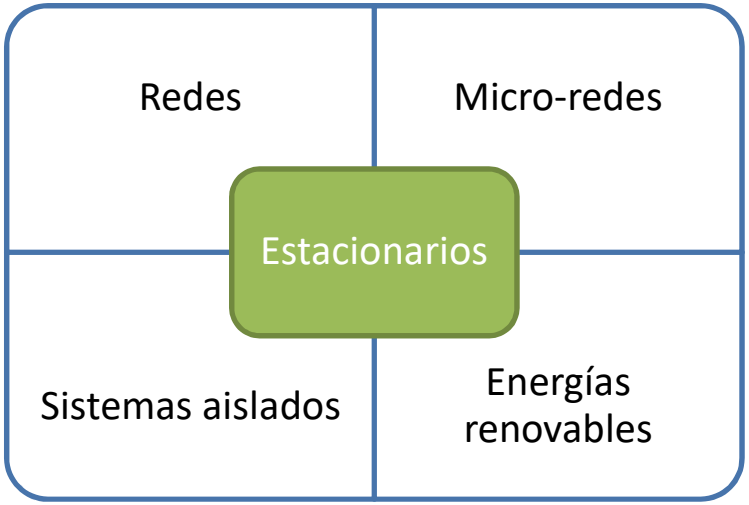
# Sistemas con dispositivos de almacenamiento energético



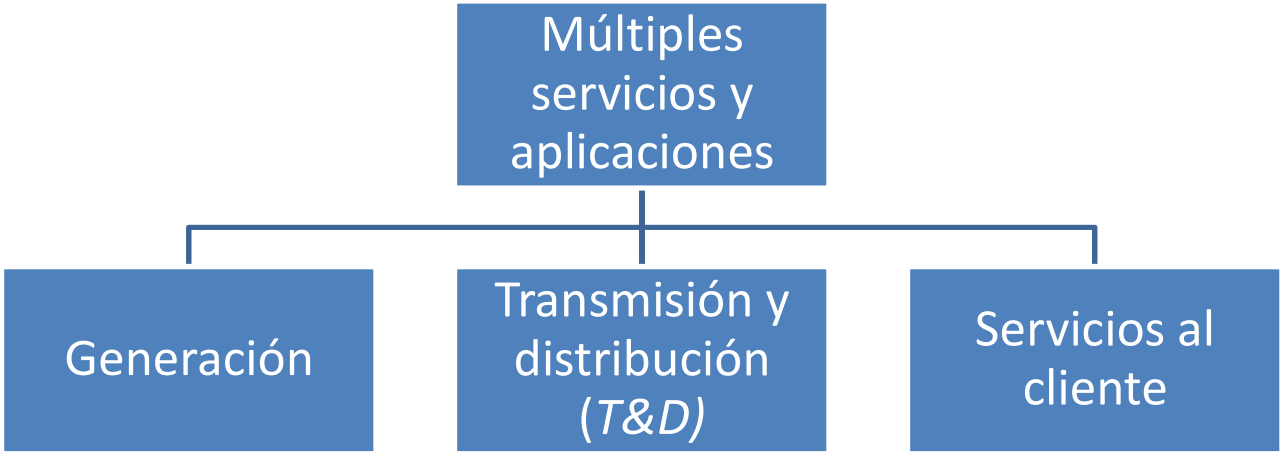
# Sistemas con dispositivos de almacenamiento energético

Sistemas estacionarios

**Redes energéticas:** diferentes servicios y aplicaciones destinadas a la mejora de la calidad de energética y el avance hacia la innovación tecnológica. Destinadas a una amplia variedad de tamaños de redes energéticas, micro-redes, sistemas aislados y redes con energías renovables.



# Oportunidades de aplicación de los sistemas de acumulación en redes eléctricas

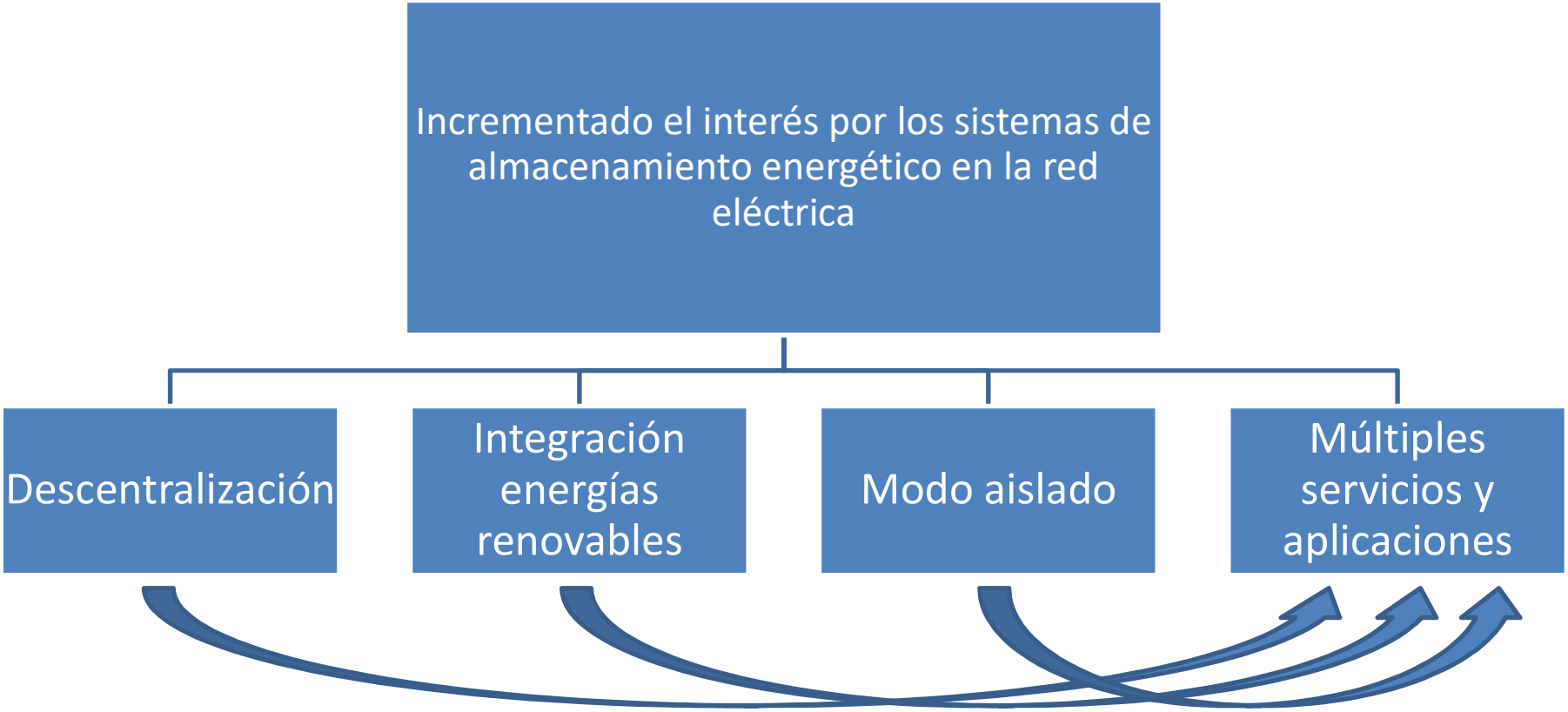



Recopilación de diferentes categorías y términos de servicios y aplicaciones mediante el conjunto de informes, libros y artículos consultados.

EPRI ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

Sandia National Laboratories

# Oportunidades de aplicación de los sistemas de acumulación en redes eléctricas



# Oportunidades de aplicación de los sistemas de acumulación

## Generación

- 1. Arbitraje y nivelación de carga.
- 2. Capacidad de suministro eléctrico.
- 3. Suavizado de pendientes.
- 4. Regulación y reserva de capacidad de suministro.
- 5. Control de tensión.
- 6. Arranque autógeno.
- 7. Seguimiento de carga.

Load-Shifting

## Transmisión y distribución T&D

- 8. Aplazamiento de actuación en líneas de transmisión y distribución.
- 9. Alivio de congestión.
- 10. Estabilidad a la infraestructura de trasmisión y distribución.

## Servicios al cliente

- 11. Calidad energética de la red eléctrica.
- 12. Seguridad de abastecimiento.
- 13. Gestión del tiempo de uso energético.
- 14. Reducción de picos de potencia.

# Oportunidades de aplicación de los sistemas de acumulación

**Energéticas**

- Arbitraje y nivelación de carga.
- Capacidad de suministro eléctrico.
- Reserva de capacidad de suministro. De respaldo.
- Aplazamiento de actuación en líneas de transmisión y distribución.
- Alivio de congestión.
- Seguridad de abastecimiento.
- Gestión del tiempo de uso energético.
- Reducción del pico de potencia.

**Potencia**

- Suavizado de pendientes.
- Reserva de capacidad de suministro. Rápidas y complementarias.
- Control de tensión.
- Arranque autógeno.
- Seguimiento de carga.
- Estabilidad a la infraestructura de trasmisión y distribución.
- Calidad energética de la red eléctrica.

De minutos a horas

Tiempo de respaldo requerido

De milisegundos a minutos

Los códigos de red son los facilitadores de las aplicaciones de potencia de los ESS. En las de energía es el mercado.

# Perspectiva de utilidad de los sistemas de almacenamiento

## Aplicaciones maduras

- Sistemas de alimentación interrumpida.
- Seguimiento de carga en sistemas aislados con generación renovable no gestionable (fotovoltaica y eólica).

## Aplicaciones en desarrollo

- Suavizado de pendientes (smoothing).
- Emulación de inercia.
- Regulación potencia-frecuencia.
- Desplazamiento energético (load-leveling).
- Reducción de pico de consumo (peak-shaving).

## Normativas

- P.O.3.7: Recuperación de la energía no integrable en el sistema.
- Borrador P.O. 12.2: nuevos requisitos, regulación potencia frecuencia.

Procedimiento de Operación de Red Eléctrica de España

## Impulso de las aplicaciones en desarrollo

- Aumento del coste en los picos de demanda.
- La inversión para aumentar la seguridad de la red.
- La integración de fuentes de energías renovables.
- Normativa

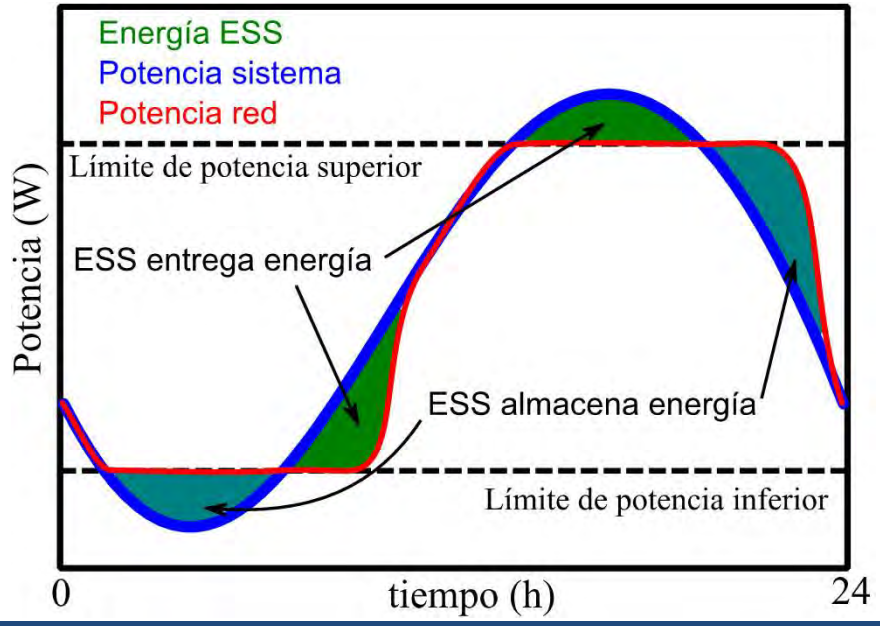
Bombeo | Baterías

# Reducción de picos de potencia con sistemas de acumulación

# Reducción de picos de potencia con sistemas de acumulación

**Introducción:** Concepto básico de reducción de picos de potencia.

**Peak-shaving.** Se evitan inconvenientes de exceder los límites de potencia de intercambio con la red si durante el pico de potencia, el excedente es cubierto por un ESS. Los límites pueden ser consecuencia de los requerimientos técnicos o por conveniencia económica. Los picos de potencia pueden ser de generación o de consumo, aunque estos últimos son los más estudiados.



# Reducción de picos de potencia con sistemas de acumulación

**Tipos de algoritmo de reducción**

Puede ser deseable o necesario reducir niveles de potencia generada o consumida que superan ciertos límites impuesto por restricciones técnicas, de seguridad o económicas.

Los sistemas de acumulación energéticas pueden ofrecer el servicio de recortar estos picos de potencia indeseados absorbiendo o entregando energía cuando sea necesario.

| Principales estrategias de reducción |
| --- |
| • Descender la magnitud global<br>• **Recortar el excedente del límite** |

Los tipos de control más populares para ofrecer este servicio es descender la magnitud global de la potencia intercambiada y el recorte del excedente que supera al límite impuesto. Este último será el usado en el caso de estudio implementado.

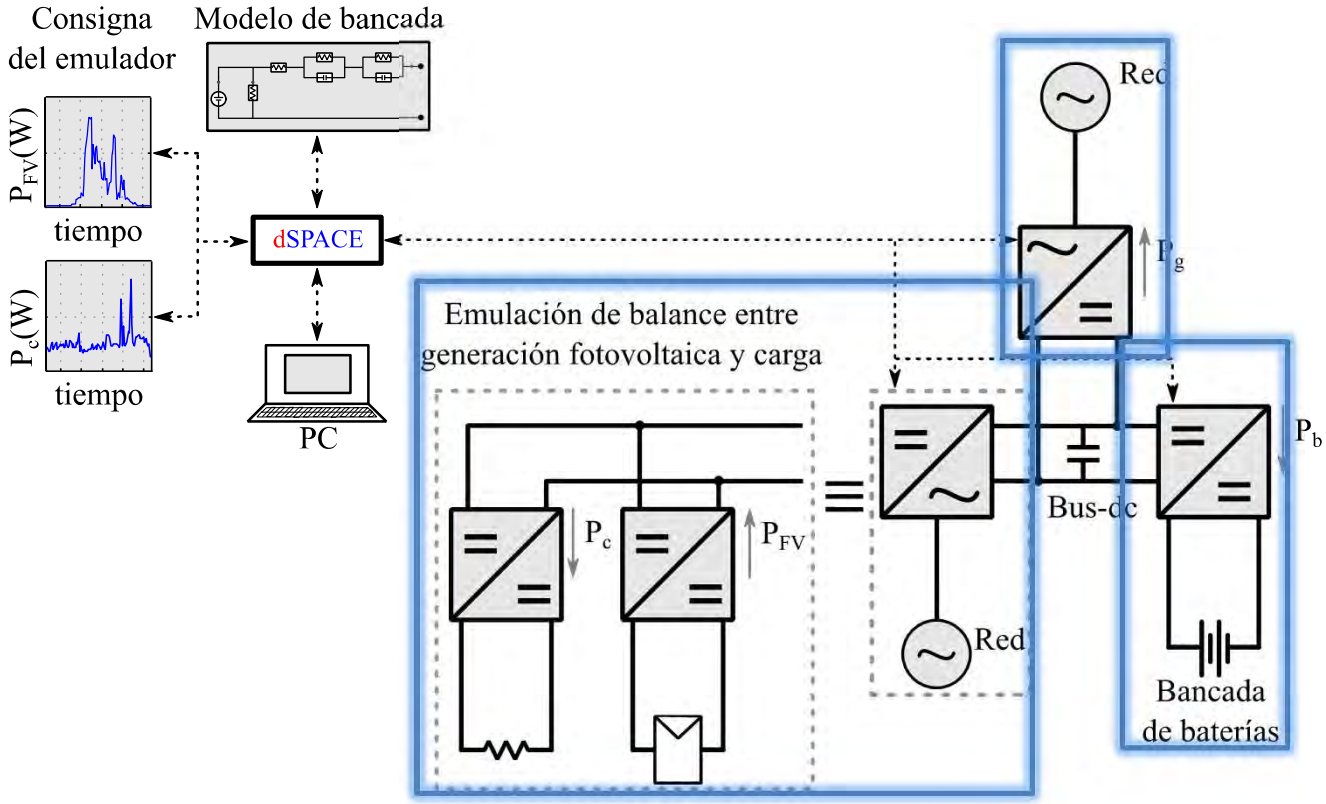
# Reducción de picos de potencia con sistemas de acumulación

**Caso de estudio:** *«Esquema del sistema híbrido para la reducción de picos de potencia con baterías»*

$$P_g = P_{FV} - P_c - P_b$$

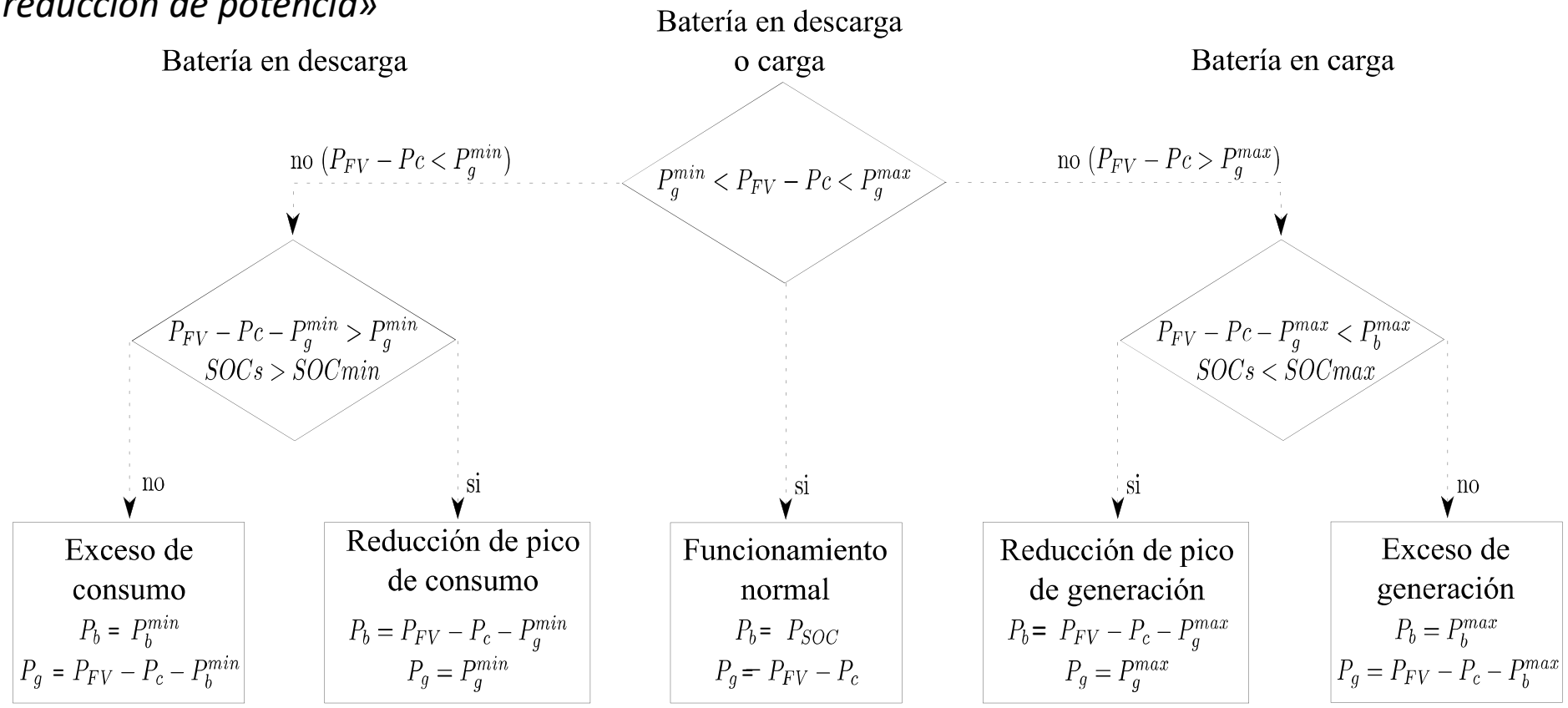
$$P_g^{max} = 2000\,W$$

$$P_g^{min} = -2000\,W$$



# Reducción de picos de potencia con sistemas de acumulación

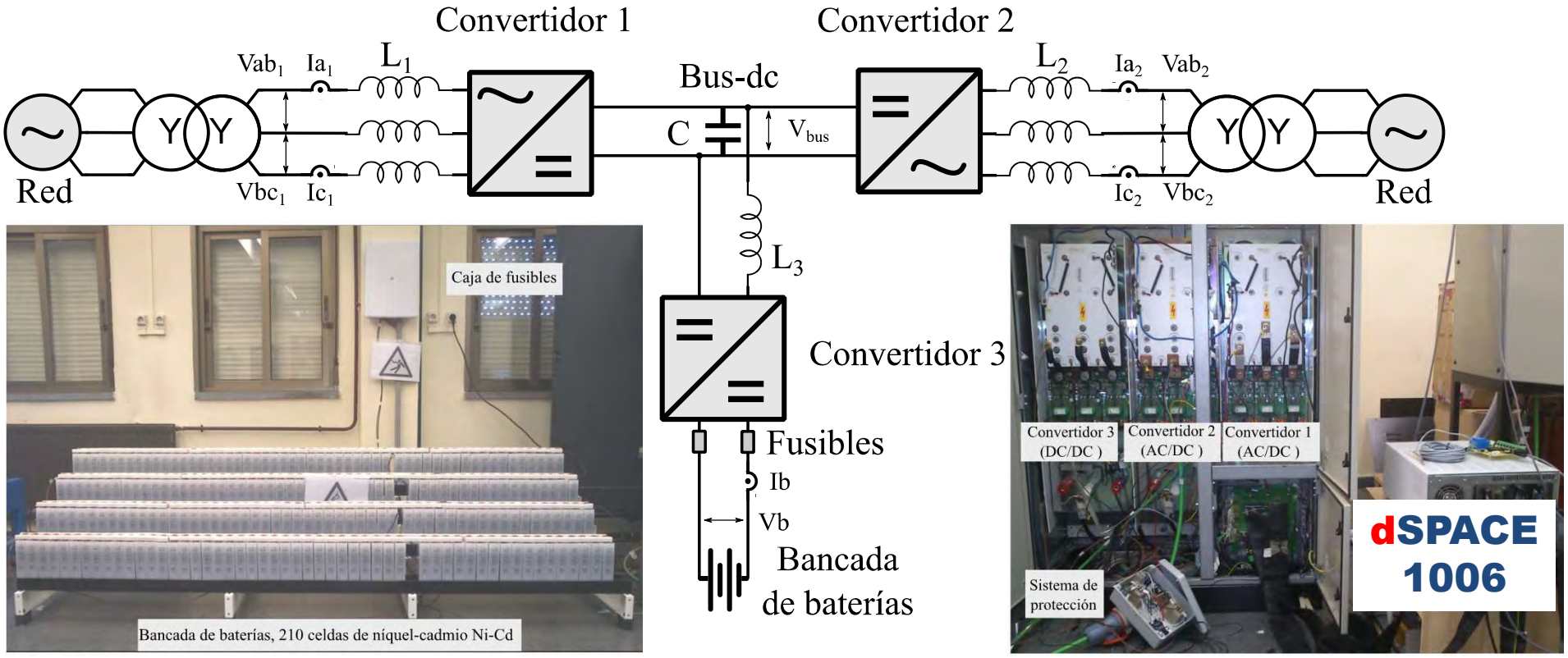
**Caso de estudio:** *«Diagrama de flujo de los posibles estados del sistema ante el servicio de reducción de potencia»*




$P_{SOC}=(SOC_{ref}-SOCs)\cdot K_s$

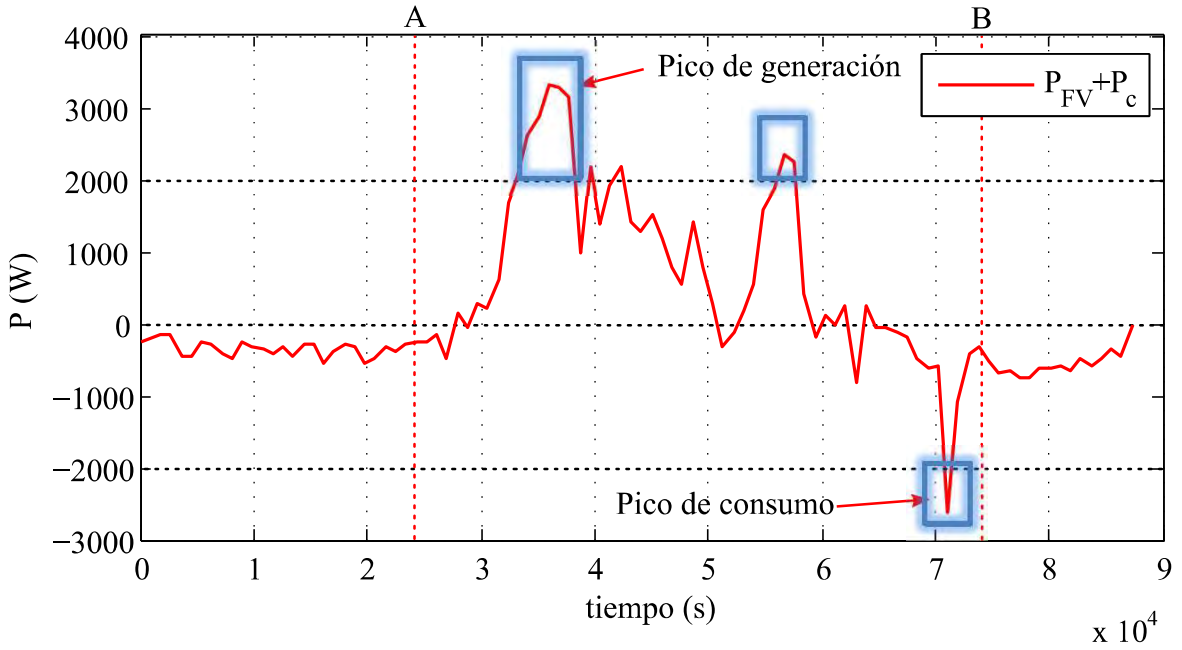
# Reducción de picos de potencia con sistemas de acumulación

**Caso de estudio:** *Montaje eléctrico utilizado*

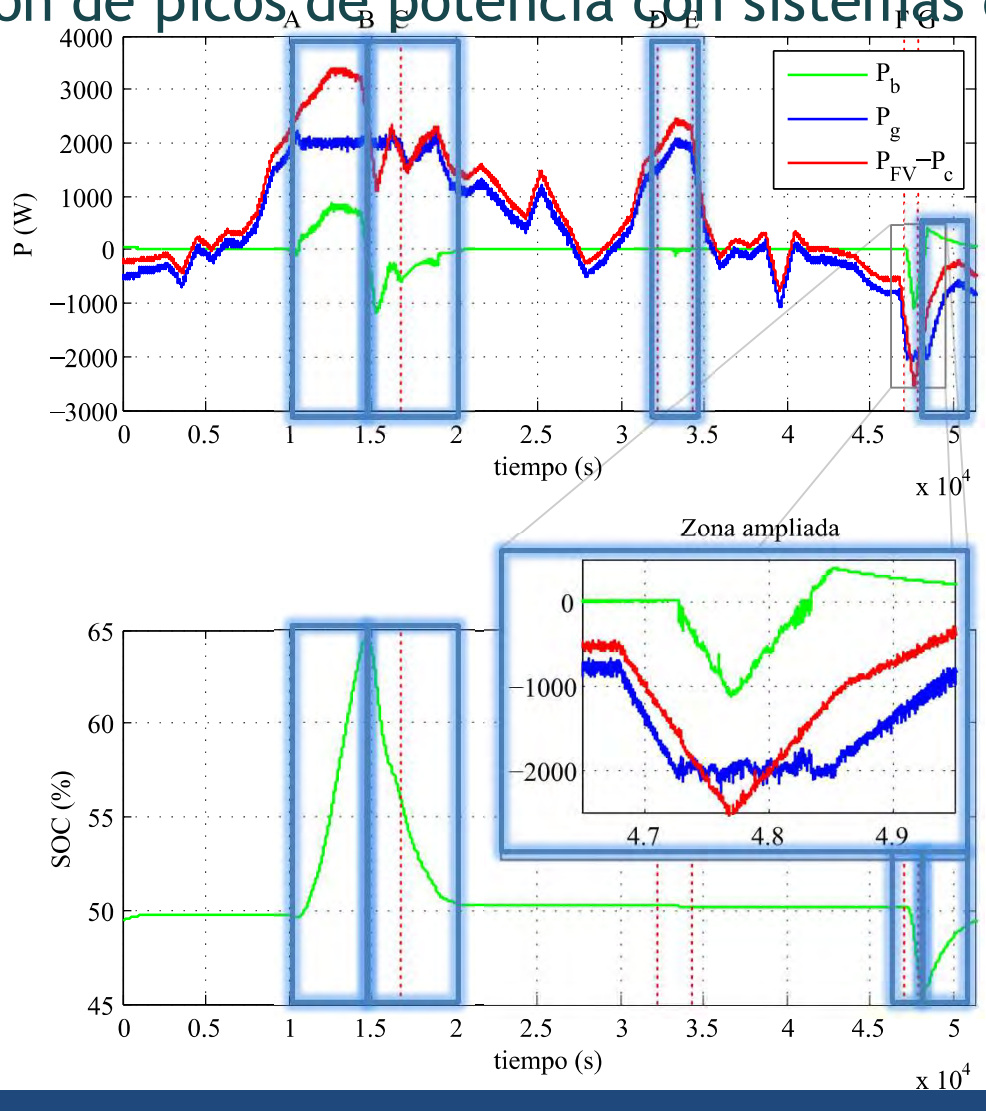


# Reducción de picos de potencia con sistemas de acumulación

**Caso de estudio:** *«Consignas del emulador del sistema híbrido de generación fotovoltaica y carga»*



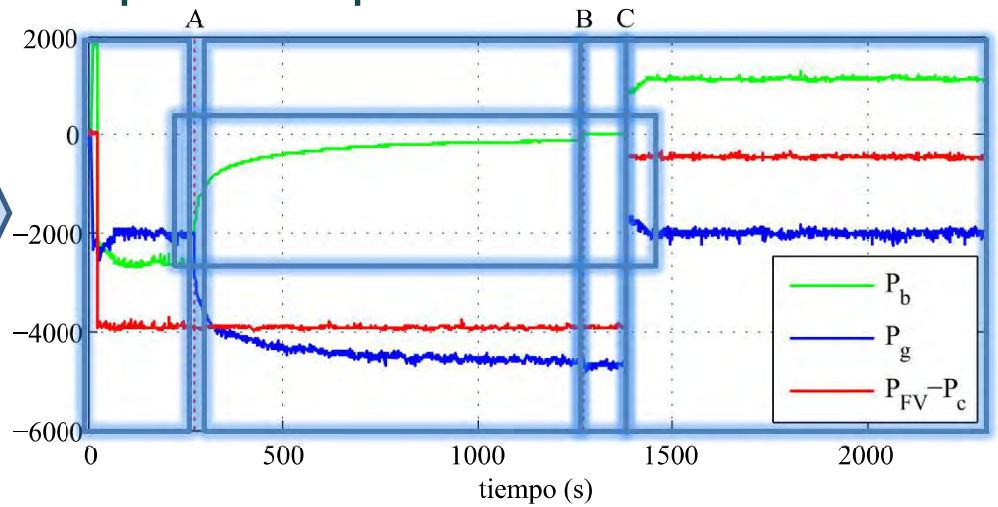
# Reducción de picos de potencia con sistemas de acumulación



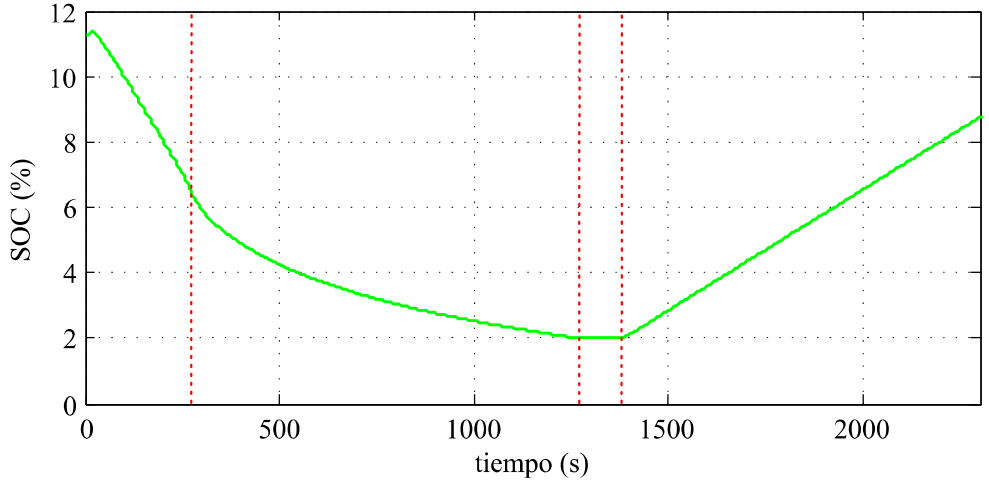

**Caso de estudio:**
*«Ensayo de reducción de picos de potencia mediante baterías a lo largo de 14 horas»*

# Reducción de picos de potencia con sistemas de acumulación

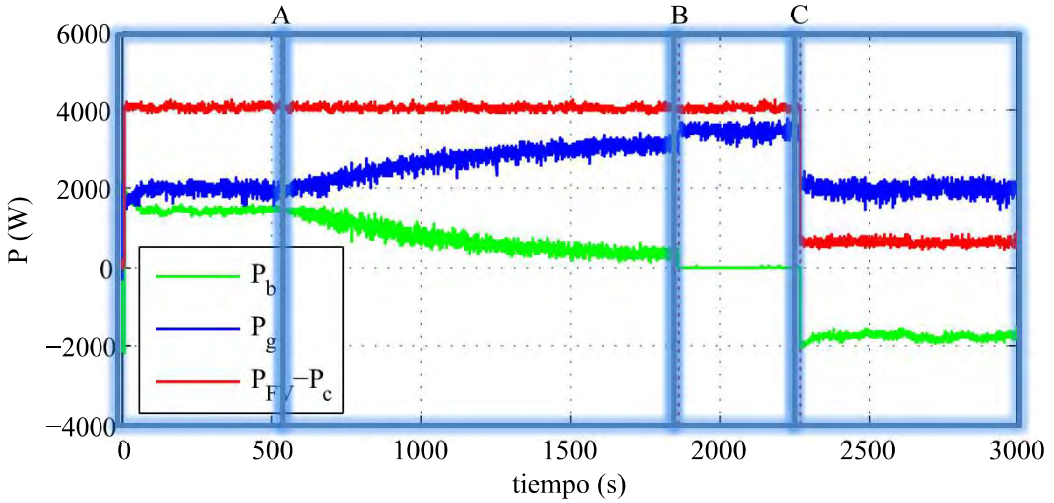
Algoritmo de potencia disponible



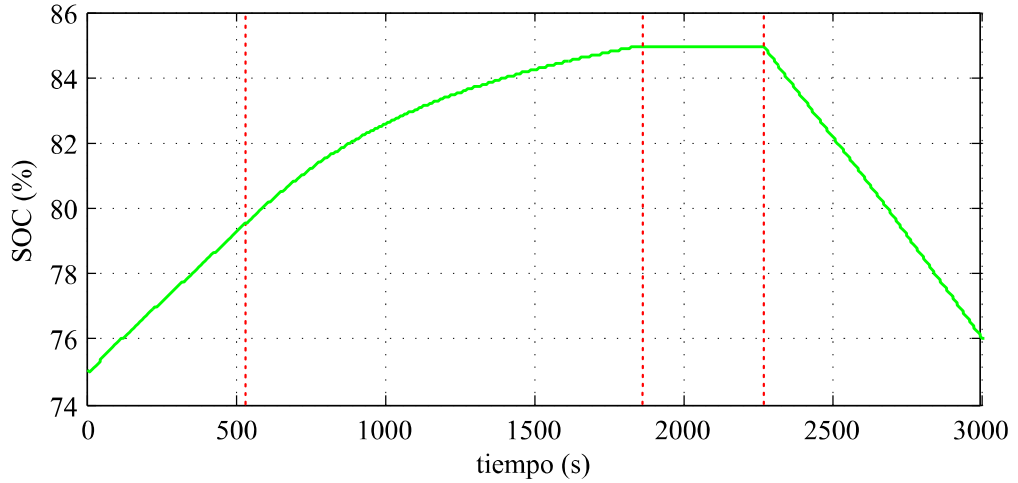

**Caso de estudio:**
*«Ensayo ante exceso de consumo»*



# Reducción de picos de potencia con sistemas de acumulación




**Caso de estudio:**
*«Ensayo ante exceso de generación»*



# Conclusiones

- Hay un **creciente interés** en las aplicaciones ofrecidas por los sistemas de acumulación destinadas a dar servicios a las redes eléctricas.
- Los **sistemas de acumulación son un elemento destacable** para solucionar problemas técnicos en las instalaciones eléctricas.
- Los algoritmos de **servicio de reducción de picos de generación** mediante sistemas de acumulación energética se presentan como una solución técnica para solventar problemas actuales de instalaciones eléctricas estacionarias.
- Los posibles estados del servicio de reducción de picos de generación pueden ser mostrados mediante un sencillo **flujograma**, tal como se ha mostrado en diapositivas anteriores.
- Se ha demostrado mediante **ensayos empíricos** la viabilidad del algoritmo propuesto mediante el flujograma para dar el servicio de reducción de picos de potencia.

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

SIEMENS Gamesa
RENEWABLE ENERGY

The Association of Energy Engineers
Spain Chapter

www.aeespain.org

# Peak-Shaving Application with Energy Storage Systems in Microgrids.

**Autor de la comunicación: M. García Plaza**[1]

1 C/ Ramírez de Arellano, 37, 28043 Madrid, España. Tel.: +34 617 32 79 32 manuel.garcia.p@siemensgamesa.com

**Resumen:** Los sistemas de acumulación energética (Energy Storage Systems, ESS) ofrecen servicios y aplicaciones en las redes eléctricas. Destacan aplicaciones como el suavizado de pendientes y reducción de pico de potencia (peak-shaving). La ponencia describe el servicio de peak-shaving que son capaces de ofrecer los ESS en un sistema eléctrico. En ciertas instalaciones es posible un aumento significativo de la potencia consumida o generada en intervalos breves de tiempo que destacan por encima de la media diaria. Este pico de potencia puede suceder en generación y en consumo, aunque es más usual el estudio en consumo. Es posible evitar los inconvenientes de exceder los límites de potencia de intercambio si durante el pico de potencia en cuestión, el excedente es cubierto por un sistema de acumulación. Los límites pueden ser consecuencia de los requerimientos técnicos o económicos. El sistema estudiado consiste en la reducción de picos de potencia de un sistema compuesto por un generador fotovoltaico y una carga mediante una bancada de baterías electroquímicas. Se exponen los resultados de los ensayos empíricos llevados a cabo en un montaje eléctrico de un laboratorio con un escenario de recorte de picos en generación y consumo. Se expone y analizada el algoritmo implementado.

**Palabras clave:** Almacenamiento energético. Aplicaciones estacionarias. Reducción de picos de potencia. Baterías. Integración de energías renovables.

## 1. INTRODUCCIÓN

El interés por la incorporación de los ESS en diferentes áreas de la red eléctrica ha aumentado significativamente, acentuándose en los últimos años. Esto es así dado que gracias a la incorporación de ESS es posible cumplir con el aumento de necesidades y requisitos de calidad de las redes eléctricas.

Gracias a la incorporación de ESS es posible el cumplimiento de ciertas especificaciones técnicas que sin ellos no sería posible. Este hecho se agrava considerando el crecimiento del porcentaje de energía inyectada a la red mediante energías renovables en el mix de generación.

La disponibilidad y programación del perfil de potencia tanto de consumo como de generación de los ESS permite suavizar o eliminar los inconvenientes de la generación de electricidad mediante energías renovables y cumplir con especificaciones técnicas severas. También permite la programación de intercambio energético para aplicaciones con el único objetivo de rentabilidad económica. Por ejemplo, el uso de ESS puede favorecer la estabilidad de la frecuencia y de la tensión de las redes a las que se conectan, ayudan a la descentralización, incorporación de energías renovables y el trabajo de redes eléctricas en modo aislado. Todos estos empeños y muchos otros definen múltiples servicios y aplicaciones de los ESS en las redes eléctricas.

Los sistemas de almacenamiento energético pueden proveer una gran variedad de servicios y de aplicaciones en los diferentes sectores del sistema eléctrico desde la generación pasando por la transmisión y distribución (T&D) hasta el usuario. Varios estudios desarrollados en las últimas dos décadas identifican múltiples oportunidades de servicio y de aplicación de los sistemas de almacenamiento energético en las redes eléctricas. La multitud de informes, libros y artículos que tratan el tema [Reddy, T. B. et al. (2011), Vazquez, S. et al. (2010), Oudalov, A. et al. (2006),

Mears, H.L. et al. (2003), Eyer, J. et al. (2010)] por ejemplo, difieren en las distintas categorías y terminologías para las mismas aplicaciones. Son destacables los estudios desarrollados por los centros estadounidenses Electric Power Research Institute (EPRI) y Sandia National Laboratories.

La selección de las características del ESS, así como de la electrónica de potencia asociada, el hardware destinado a la ejecución de los algoritmos de control y el nivel dentro de la arquitectura general de control donde ubicar el control es algo crucial para la implementación de la aplicación seleccionada.

Las especificaciones de estos elementos irán vinculadas a ciertas características de la aplicación seleccionada. Una característica habitual para clasificar las aplicaciones de ESS es el tiempo de respuesta y de respaldo que deben tener [Reddy, T. B. et al. (2011), Oudalov, A. et al. (2006), Eyer, J. et al. (2010)]. Tenemos aplicaciones que por sus características las englobamos en energéticas o de potencia según destaque un uso más destinado a gestión de grandes cantidades de energía a lo largo de horas o intercambios de potencia en periodos de tiempo más cortos. La velocidad de respuesta que exija la aplicación nos permite determinar la electrónica de potencia y el periodo de ejecución de los algoritmos de control asociados. Es común localizar las especificaciones de las aplicaciones de potencia según los códigos de red (Gris Code) mientras que las especificaciones energéticas están más vinculadas a criterios del mercado energético.

Controles de medio y alto nivel destinados a aplicaciones energéticas y controles de bajo nivel destinados a aplicaciones de potencia. Las primeras podrán ser implementadas en controladores de planta (Power Plant Controller PPC y Energy Management System EMS) y las segundas a controladores específicos de convertidores de potencia o controladores vinculados como el controlador del sistema de acumulación energética (Battery Management System BMS, en el caso de ESS consistente en baterías). Estas y el resto de las especificaciones permiten la selección del ESS según las aplicaciones.

En esta comunicación se expone el diseño, implementación y comprobación de un servicio de recorte de picos de potencia mediante un sistema acumulación. El desarrollo de los ensayos fue llevado a cabo en la tesis doctoral del autor [M. García-Plaza (2015)], así como parte del material expuesto.

## 2. REDUCCIÓN DE PICOS DE POTENCIA MEDIANTE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO

En ciertas instalaciones es posible un aumento significativo de la potencia consumida o generada en intervalos breves de tiempo que destacan por encima de la media diaria. Este pico de potencia puede suceder en generación y en consumo, aunque es más usual el estudio de los problemas relacionados con picos de consumo.

Las líneas de transmisión y de distribución deben ser dimensionadas para soportar estos picos de potencia, pese a que en el resto del día no se utilice toda la capacidad de la línea. Este sobreprecio en la infraestructura se traduce en un incremento del precio de la energía para los clientes [Lavrova, O. et al. (2012)]. Normalmente, las compañías eléctricas tienen una estructura de tarifas donde los usuarios pagan de acuerdo con el consumo de energía y de acuerdo con su demanda de potencia más alta. Es común que una instalación que reduce el pico de consumo experimente un ahorro de entre el 10% y el 30% de su factura de electricidad [Oudalov, A. et al. (2006), Even, A. et al. (1993)]. La repercusión económica varia ligeramente de un país a otro, pero el fundamento del aumento de costes según el pico de demanda es el mismo [Even, A. et al. (1993), Aksanli, B. et al. (2013)].

Las posibles soluciones para reducir el aumento de potencia pueden ser el deslastre de cargas no críticas (Load shedding), la activación de sistemas de generación dedicados exclusivamente a

funcionar en estos eventos puntuales y los servicios de reducción de picos mediante sistemas de acumulación (Peak shaving).

En el caso concreto de los picos de potencia de generación de fuentes de energía renovable como la eólica o la fotovoltaica se pueden dar situaciones donde sea necesario que estos generadores se desvíen de sus puntos de máxima potencia al no poder inyectar toda la energía que tienen disponible. Esta situación es indeseable, ya que estas fuentes deben tratar de transformar en energía eléctrica toda la energía primaria que reciben. Según el Procedimiento de Operación (P.O. 3.7) el Operador del Sistema puede informar de límites de producción si detecta condiciones que supongan un riesgo.

Las causas de querer reducir el pico de potencia pueden ser por límites del sistema, requisitos del operador del sistema o parámetros económicos, siendo estos últimos los más atendidos en la bibliografía.

El servicio de reducción de picos de consumo ha sido practicado tradicionalmente mediante el uso de generadores diésel. Sin embargo, hoy en día es posible la instalación de sistemas de acumulación capaces de entregar la energía necesaria en los picos de consumo [Oudalov, A. et al. (2006)]. Las aplicaciones de reducción de pico de consumo mediante sistemas de acumulación están recibiendo gran interés en la actualidad con numerosos proyectos piloto en diferentes países. Esto se ve incentivado por el aumento de generación no gestionable en la red como las energías renovables.

La reducción de picos de potencia por medio de sistemas de acumulación consiste en proveer la potencia excedida mediante el acumulador, recortando la potencia intercambiada para no sobrepasar la potencia máxima programada. Cuando no sea necesaria la reducción del pico de potencia, el sistema acumulador intercambia energía para alcanzar su estado de carga de referencia preparándose para el siguiente pico. Es importante tener a la batería en un estado de carga que permita intercambiar la energía requerida por la reducción de picos de potencia [Aksanli, B. et al. (2013), Riffonneau, Y. et al. (2011)].

La metodología para calcular el beneficio económico de usar baterías en la reducción de picos de consumo parte del estudio de la distribución del precio de la electricidad a lo largo del día y del aumento de la tarifa según la reducción del pico de potencia máximo. En la mayoría de los métodos también se incluyen estimadores de la eficiencia energética y el tiempo de vida útil de la batería. En algunos casos se incluyen modelos para la predicción del estado de salud de la batería [Even, A. et al. (1993), Aksanli, B. et al. (2013), Riffonneau, Y. et al. (2011)]. Diversos autores proponen diferentes fórmulas para el cálculo de este beneficio económico teniendo en cuenta estas variables [Even, A. et al. (1993), Oudalov, A. et al. (2006), Lavrova, O. et al. (2012), Riffonneau, Y. et al. (2011)]. Es crítica una buena predicción del perfil de consumo de la carga a reducir. Este parámetro es fundamental en el dimensionamiento del sistema acumulador [Even, A. et al. (1993)].

En la actualidad se están utilizando baterías ya instaladas para dar otros servicios, como los sistemas de alimentación interrumpida (UPS) de centros de procesamiento de datos. Mediante estos sistemas se ofrece el servicio de reducción de picos de consumo. El servicio de reducción de picos de consumo en centros de procesamiento de datos es un tema de actualidad [Aksanli, B. et al. (2013)].

Existen dos métodos habituales de reducir el pico de potencia. El primer método consiste en recortar la potencia que se excede del límite, fijando la potencia de consumo a la máxima [Riffonneau, Y. et al. (2011)]. El segundo método consiste en entregar una cantidad fija por parte del sistema de acumulación, descendiendo el consumo global, donde en ningún momento la potencia excede del límite [Even, A. et al. (1993), Aksanli, B. et al. (2013)]. Mientras que el primer método envejece menos a la batería, el segundo tiene un control más sencillo, facilita la estimación de la capacidad del sistema de acumulación y es típica de instalaciones de acumulación ya existentes donde se incluye el servicio de reducción de picos de consumo.

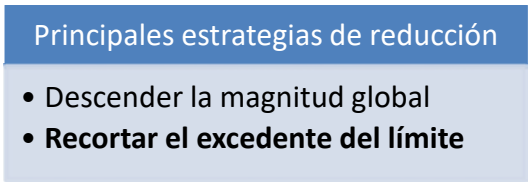



**Figura 1**. *Principales estrategias de reducción*

En la Figura 1 se resumen los dos tipos de control más populares para ofrecer este servicio: descender la magnitud global de la potencia intercambiada y el recorte del excedente que supera al límite impuesto. Este último será el usado en el caso de estudio implementado.

## 3. ESCENARIO DE APLICACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

Los ensayos y casos de estudio se estudiarán sobre una micro red conectada a una red principal. La supuesta micro red consiste en un sistema compuesto por un generador fotovoltaico, una carga y una bancada de baterías electroquímicas. El objetivo del algoritmo implementado consiste en limitar la potencia intercambiada por la micro red y la red principal.

Se ha utilizado una bancada de baterías compuesta por 210 celdas de níquel−cadmio de 11Ah y 1,2V por celda conectadas en serie. Dentro del control se incorpora un modelo eléctrico de la batería para la estimación del estado de carga basado en un contador de amperios hora.

En la Figura 2 se muestra un esquema con todos los elementos que componen el montaje eléctrico montado en el laboratorio para emular la micro red del escenario estudiado.

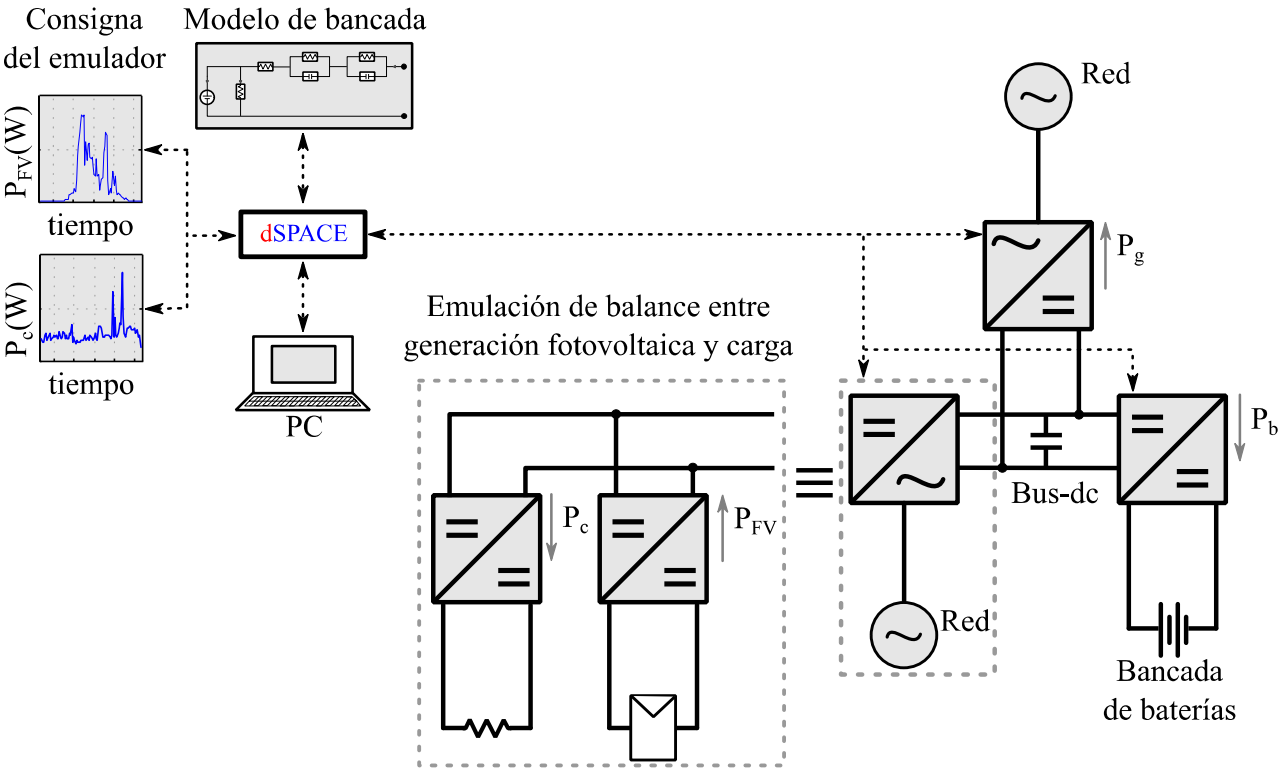



**Figura 2**. *Esquema del sistema híbrido para la reducción de picos de potencia con baterías*

En la Figura 2 se muestra un esquema del sistema donde el balance energético del generador fotovoltaico y la carga se emula mediante un convertidor conectado a la red. Junto a cada variable de potencia se indica, mediante una flecha, el sentido del flujo de potencia que hace a la variable positiva. La consigna de potencia del generador fotovoltaico y de la carga que se asigna a este convertidor se obtiene mediante dos tablas con datos empíricos de una instalación real.

El sistema pretende recortar los picos de potencia intercambiados con la red. En este caso de estudio se consideran picos de potencia aquellos valores superiores a Pmaxg = 2000W, cuando se entrega energía e inferiores a Pmin g = −2000W, cuando se absorbe energía de la red.

Se ha utilizado el método de recortar la potencia que se excede del límite, fijando la potencia de consumo a la máxima.

El convertidor que gestiona la energía entre el sistema hibrido y la red realiza la regulación de la tensión en el bus−dc. Por lo tanto, la potencia a inyectar a la red por parte del sistema hibrido Pg es igual al balance entre la potencia del generador fotovoltaico $P_{FV}$, la potencia de la batería Pb y la potencia de la carga Pc, $Pg = P_{FV} - Pc - Pb$.

Para el cálculo de la potencia a asignar a la batería ante el servicio de reducción de picos de potencia se detectan cinco posibles estados del balance de potencia. Estos estados son: funcionamiento normal, reducción de pico de consumo, exceso de consumo, reducción de pico de generación y exceso de generación. A continuación, se describen los posibles estados del balance de potencia del sistema hibrido y se muestra el comportamiento deseado de la batería ante ellos.

El inversor conectado a la bancada fija la potencia que se quiere intercambiar con las baterías, $P_b$. Esta potencia es calculada por el algoritmo de reducción de picos de potencia estudiado.

El inversor conectado a red despacha la energía manteniendo neto el balance de bus dc.

La potencia intercambiada con la red es igual a la potencia del generador fotovoltaico y carga menos la potencia de la batería. La potencia de la batería es fijada para compensar el exceso de potencia.

De esta forma la potencia final que es inyectada a la red es limitada a la potencia máxima de diseño, que en esta ocasión es de 2000W.

En la Figura 3 se expone la ecuación principal resumen del montaje eléctrico como los parámetros de limitación de potencia deseados.

$$P_g = P_{FV} - P_c - P_b$$

$$P_g^{max} = 2000W$$

$$P_g^{min} = -2000W$$

**Figura 3** *Ecuación característica del montaje eléctrico y límites de intercambio de potencia seleccionados*

El valor asignado a la batería va a ser **dependiente del balance del sistema híbrido**.

Si el balance de la potencia generada y consumida da como resultante una potencia con magnitud entre los límites superior e inferior de intercambio con la red, la potencia de la batería será asignada para estabilizar el estado de carga (State Of Charge, SOC). La explicación del algoritmo de estabilización del SOC queda fuera de esta comunicación.

Si el balance supera la potencia máxima de generación, la batería deberá cargarse.

Si la batería tiene potencia suficiente se le asigna el valor justo para que la potencia intercambiada con la red sea igual a la máxima.

En cambio, se puede dar el caso que no sea posible asignarle la potencia deseada debido a que es superior a la potencia máxima. En este caso la potencia de la batería será la máxima calculada mediante el método propuesto de cálculo de potencia disponible. La explicación del algoritmo de cálculo de potencia disponible del sistema acumulación queda fuera de esta comunicación.

Si el balance de potencia del sistema hibrido supera la potencia límite en consumo, la batería se descargará con consideraciones semejantes al caso de la carga de la batería.

En la Figura 4 se detalla un flujograma detallado del algoritmo implementado con toda la casuística posible según los parámetros y variables estudiadas. En la ponencia se describirá cada uno de los estados posibles del algoritmo de servicios de recorte de picos de potencia implementado.

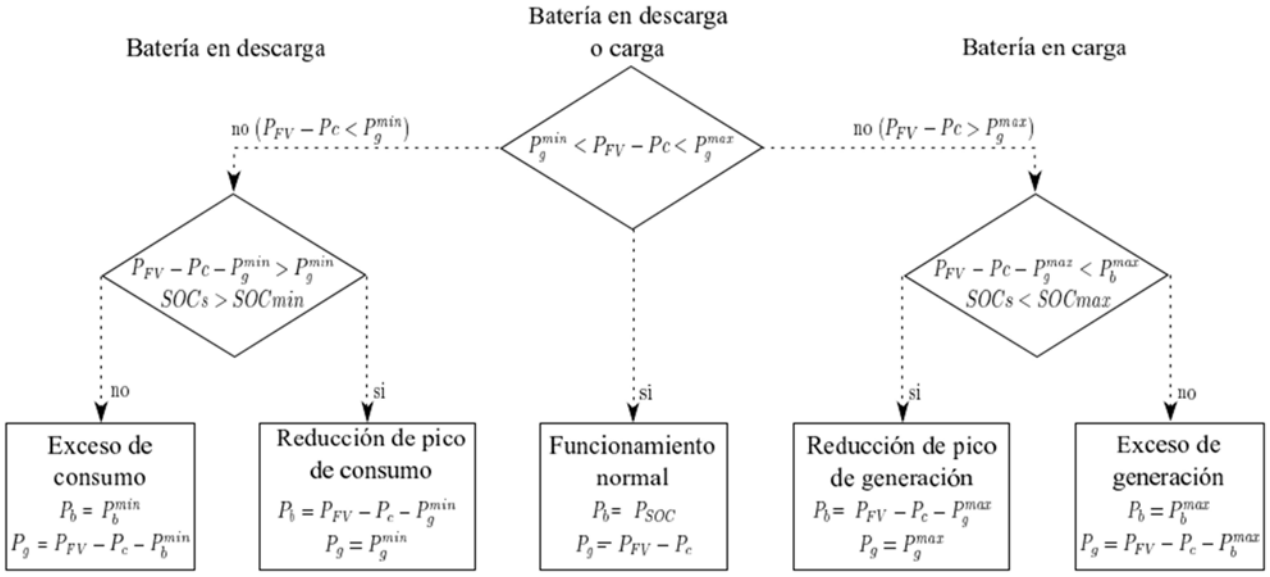



**Figura 4** *Diagrama de flujo de los posibles estados del sistema ante el servicio de reducción de potencia*

## Caso de estudio 1. Reducción de picos.

Para poder estudiar el comportamiento del algoritmo diseñado para dar el servicio de reducción de picos de potencia se presentan diferentes casos de estudio.

El primer ensayo implementado consiste en un perfil de generación-consumo de una instalación real a lo largo de un día entero. En la Figura 5 se muestra las gráficas correspondientes a los datos de la potencia fotovoltaica generada, la potencia consumida y su balance neto final.

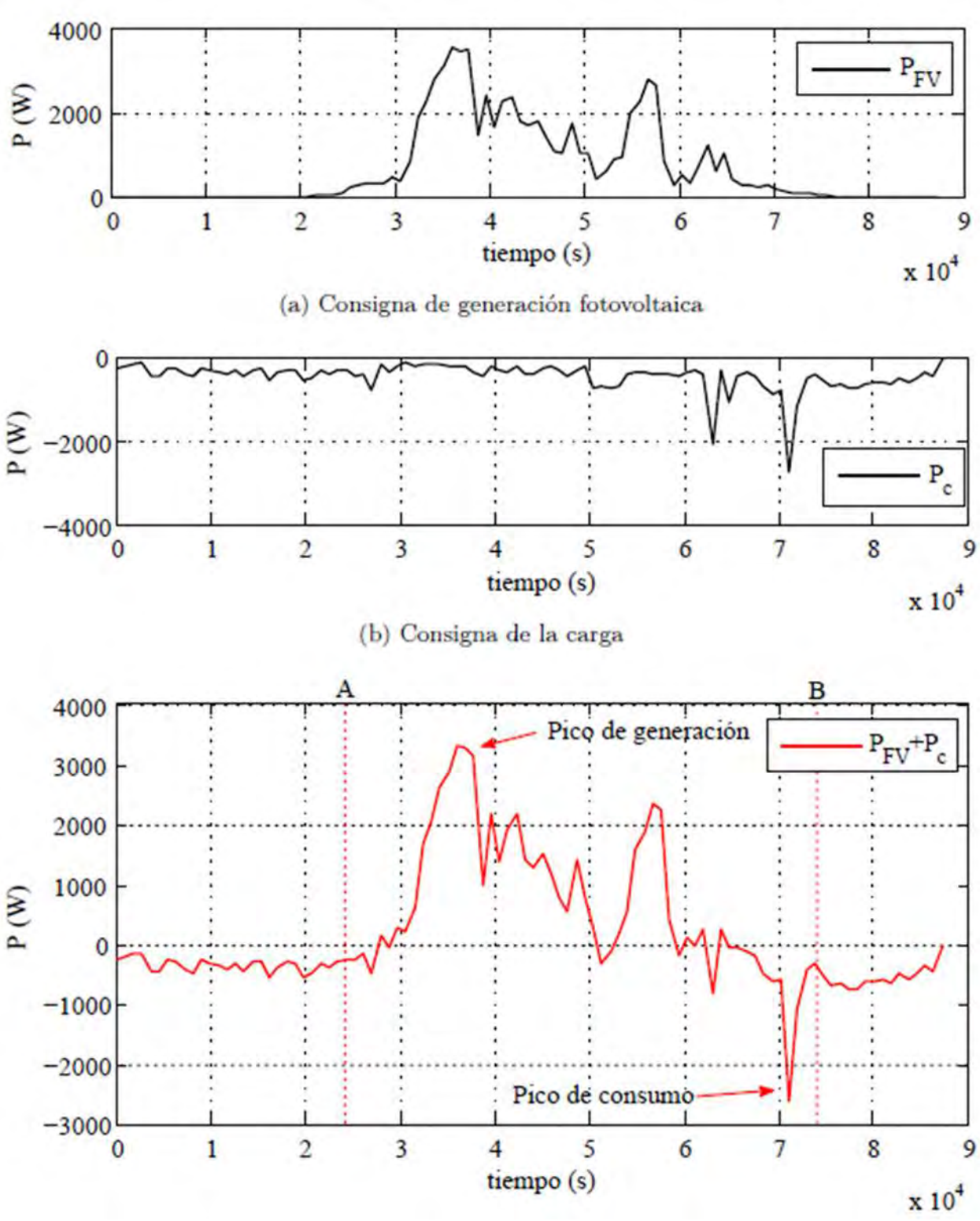



**Figura 5** *Consignas del emulador del sistema híbrido de generación fotovoltaica y carga*

En este ensayo podemos observar que existen dos momentos donde el servicio de reducción de picos de potencia será necesario. En el resto del ensayo la batería estará en su funcionamiento normal (aplicando el algoritmo de estabilización del SOC).

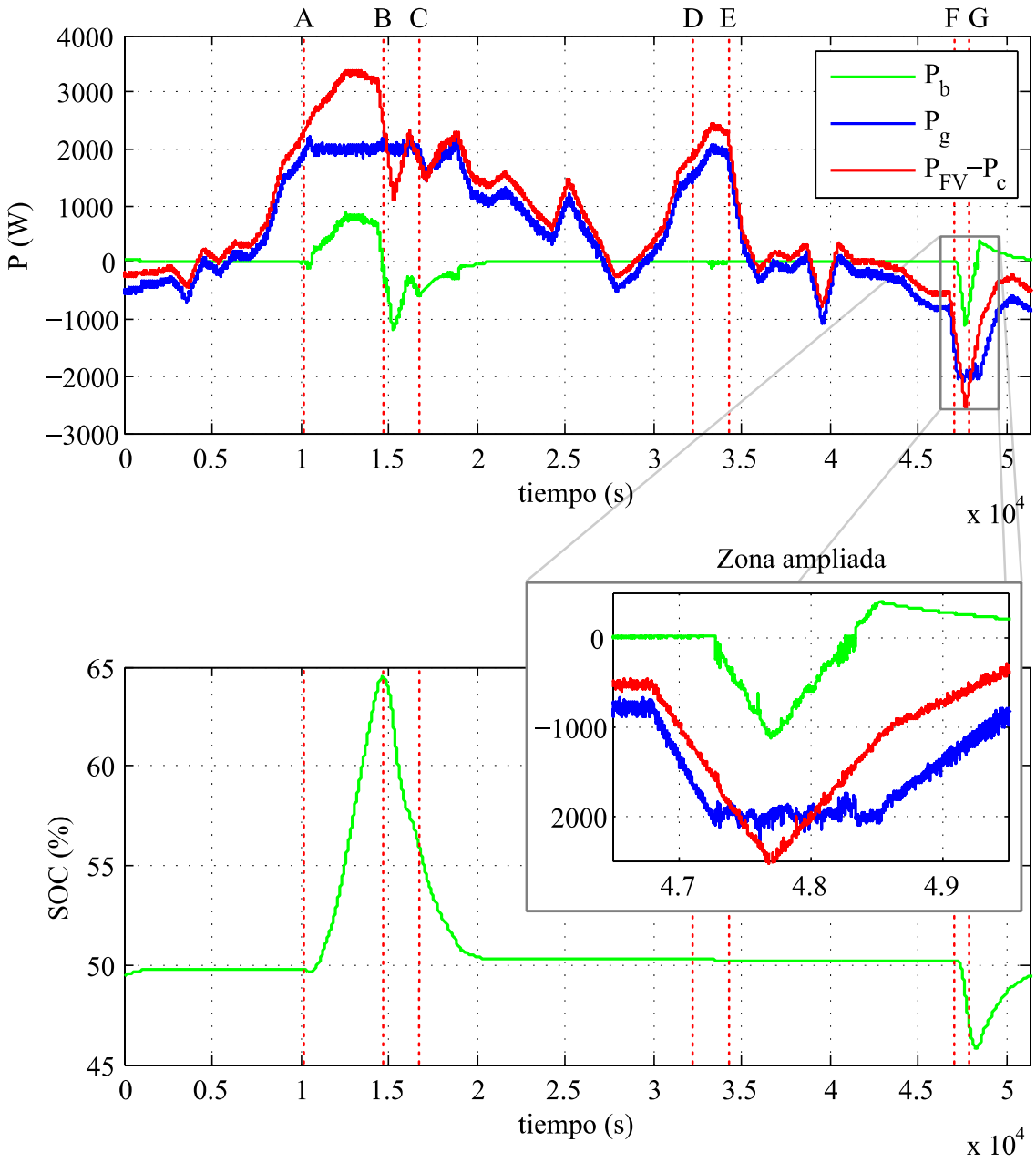



**Figura 6** *Ensayo de reducción de picos de potencia mediante baterías a lo largo de 14 horas*

En la Figura 6 se muestran las potencias resultantes de los inversores ante el ensayo empírico llevado a cabo. En rojo la potencia generada por el generador fotovoltaico. En verde la de la batería. Y en azul la potencia intercambiada con la red.

En el intervalo de tiempo entre A-B y F-G se ha reducido el intercambio de energía con la red al compensarlo con la batería.

Entre los puntos D-E no ha sido necesario debido a que el exceso se ha visto compensado por las pérdidas del sistema.

Observamos que siempre que se da el servicio de reducción de picos de potencia el SOC de la batería se desvía de la referencia.

Este desvío es compensado mediante el algoritmo de estabilización del SOC a lo largo de del funcionamiento normal de la batería dándose el caso de llegar a la potencia límite de intercambio con la red como sucede entre los puntos B-C.

**Caso de estudio 2. Exceso de consumo.**

Ha sido diseñado dos ensayos más para comprobar el correcto funcionamiento del algoritmo ante el caso de exceso de consumo y generación.

Estos ensayos son diseñados para llevar a la batería a una situación extrema donde no tienen suficiente potencia para compensar el exceso.

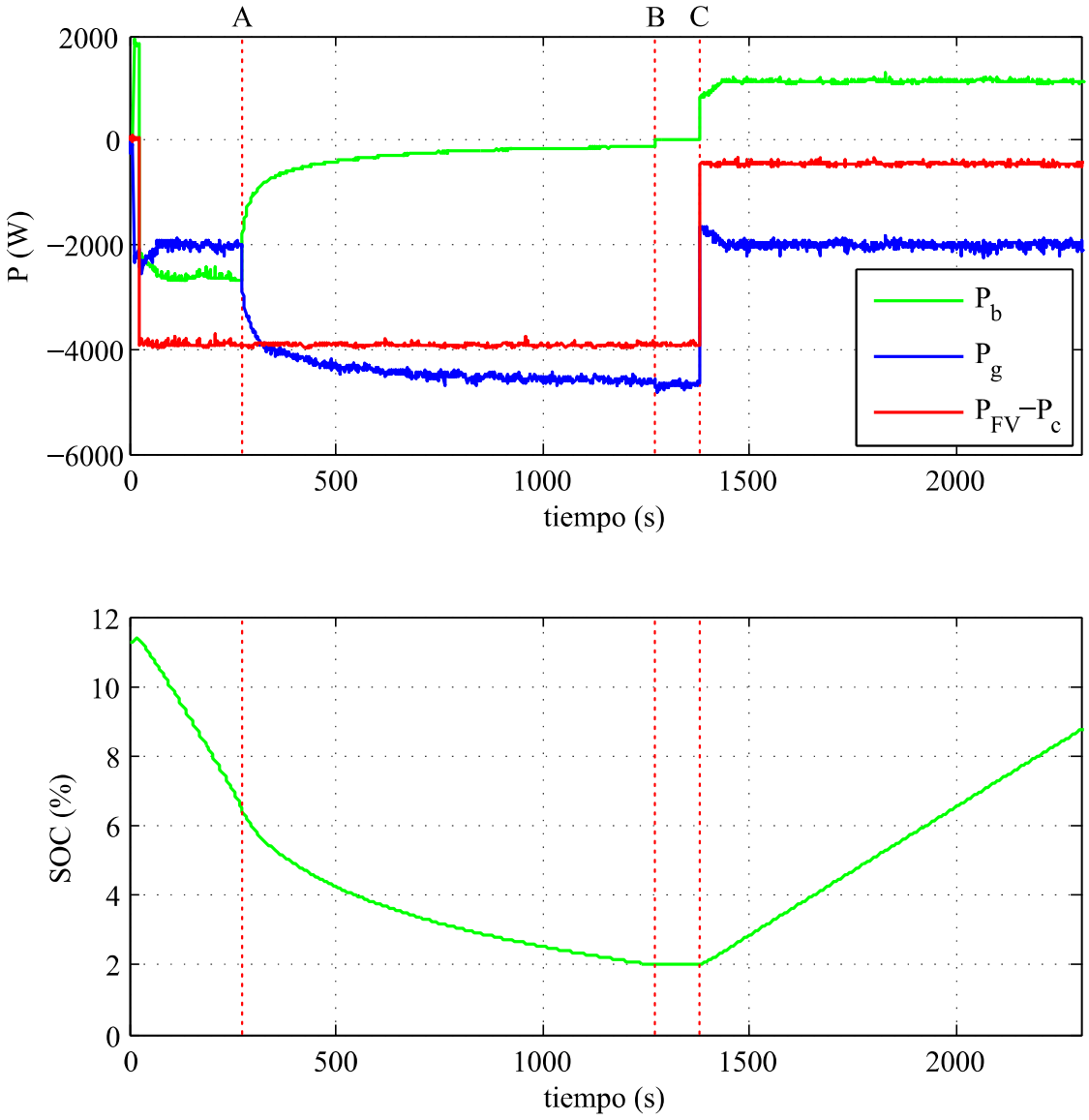



**Figura 7** *Ensayo ante exceso de consumo*

Desde el inicio hasta el punto A, la batería compensa un exceso de potencia de 2000W.

Desde el punto A al B, la batería no tiene potencia suficiente para compensar el exceso. La batería entrega su máxima potencia disponible calculada mediante el algoritmo de potencia disponible. En esta situación se excede el límite de intercambio de potencia con la red, pero se reduce el pico lo máximo posible.

En el intervalo de B a C, la batería no dispone de nada de potencia para compensar el exceso. Se estima este estado cuando el SOC de la batería es igual o menor del 2%. El pico de potencia no es recortado.

En el resto del ensayo se reduce el consumo de 4000 a 1000 y la batería se carga a la potencia máxima que permite el límite de intercambio con la red.

**Caso de estudio 3. Exceso de generación.**

En un ensayo similar al anterior se programa un exceso de generación.

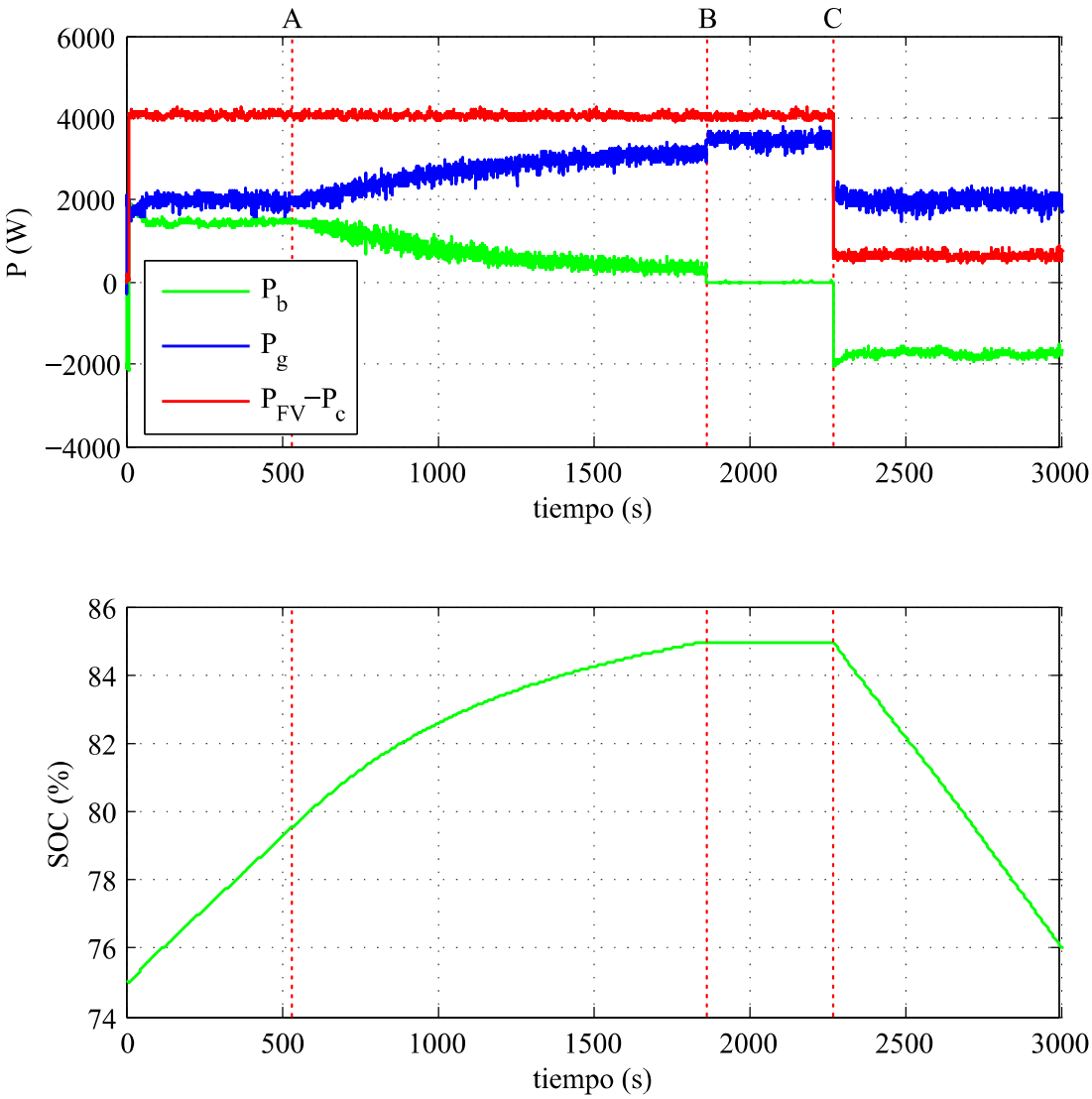



**Figura 8** *Ensayo ante exceso de generación*

Siguiendo la Figura 8, desde el inicio del ensayo hasta el instante A la batería compensa todo el exceso de generación y en consecuencia se está ofreciendo el servicio de recorte de picos de generación.

Desde el instante A hasta el B compensar con su máxima potencia. En el punto B se considera que la batería no tiene más energía disponible. Se estima este estado cuando el SOC de la batería es igual o mayor del 85%.

Desde el instante B hasta el C la batería no compensar nada el exceso y no se está dando el servicio de picos de potencia.

A partir del instante C la batería vuelve a su SOC de referencia cuando la generación se reduce a un valor menor al límite

## 4. CONCLUSIONES

Mediante los temas discernidos en esta comunicación y los ensayos empíricos descritos es posible enunciar las siguientes conclusiones:

- Hay un creciente interés en las aplicaciones ofrecidas por los sistemas de acumulación destinadas a dar servicios a las redes eléctricas.
- Los sistemas de acumulación son un elemento destacable para solucionar problemas técnicos en las instalaciones eléctricas.
- Los algoritmos de servicio de reducción de picos de generación mediante sistemas de acumulación energética se presentan como una solución técnica para solventar problemas actuales de instalaciones eléctricas estacionarias.
- Los posibles estados del servicio de reducción de picos de generación pueden ser mostrados mediante un sencillo flujograma, tal como se ha mostrado en la Figura 5.
- Se ha demostrado mediante ensayos empíricos la viabilidad del algoritmo propuesto mediante el flujograma para dar el servicio de reducción de picos de potencia.

## 3. REFERENCIAS

A. Even, J. Neyens, and A. Demouselle (1993), “Peak shaving with batteries,” in 12th International Conference on Electricity Distribution, 1993. CIRED, pp. 5.17/1–5.17/6 vol.5.

A. Oudalov, D. Chartouni, C. Ohler, and G. Linhofer (2006): “Value Analysis of Battery Energy Storage Applications in Power Systems,” in Power Systems Conference and Exposition, 2006. PSCE ’06. 2006 IEEE PES pp. 2206–2211.

B. Aksanli, T. Rosing, and E. Pettis (2012), “Distributed battery control for peak power shaving in datacenters,” in Green Computing Conference (IGCC) International, Jun. 2013, pp. 1–8.

J. Eyer and G. Corey (2010): “Energy Storage for the Electricity Grid: Benefits and Market Potential Assessment Guide,” Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico 87185 and Livermore, California 94550, Tech. Rep.

L. D. Mears, H. L. Gotschall, T. Key, and H. Kamath (2003): “EPRI-DOE Handbook of Energy Storage for Transmission & Distribution Applications,” EPRI and U. S. Department of Energy, Palo Alto, California and Washington, DC, Tech. Rep.

M. García-Plaza (2015): “Estudio y modelado de la respuesta dinámica de baterías electroquímicas destinadas a las aplicaciones estacionarias” Tesis doctoral en el departamento de ingeniería eléctrica.

O. Lavrova, F. Cheng, S. Abdollahy, H. Barsun, A. Mammoli, D. Dreisigmayer, S. Willard, B. Arellano, and C. van Zeyl (2012): “Analysis of battery storage utilization for load shifting and peak smoothing on a distribution feeder in New Mexico,” in Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2012 IEEE PES, 2012, pp. 1–6.

S. Vazquez, S. Lukic, E. Galvan, L. Franquelo, and J. Carrasco (2010): “Energy Storage Systems for Transport and Grid Applications,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 57, no. 12, pp. 3881–3895.

T. B. Reddy and D. Linden (2011): Linden’s Handbook of Batteries, fourth ed. New York: McGraw-Hill.

Y. Riffonneau, S. Bacha, F. Barruel, and S. Ploix (2011), “Optimal Power Flow Management for Grid Connected PV Systems With Batteries,” IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 2, no. 3, pp. 309–320, Jul. 2011.

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

16:00 - 18:00

**SESIÓN 3 Track A. ENERGÍAS RENOVABLES y SERVICIOS ENERGÉTICOS**
Modera: Marc Masó. **AEE SPAIN CHAPTER**

"La eficiencia energética en los servicios" **Raúl Ramos Gamero.** Coordinador de Proyectos de Servicios Energéticos. **FERROVIAL SERVICIOS**

"Digitalización de la energía y su calidad" **Jacinto López Valero.** Gerente. **CYDESA**

"Desarrollo de una plataforma de cálculo predictivo-inteligente de la flexibilidad energética en tiempo real de plantas de tratamiento de agua" **Francisco David Gallego Martínez.** Director. **REGENERA**

"Energy performance measurement of an air-cooled chiller: on-field vs manufacturer data" **Rafael Pérez Cortines.** Senior Business Development Supervisor. **DAIKIN EUROPE N.V.**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS SERVICIOS

Raúl Ramos Gamero

ferrovial servicios

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice


1 **Visión General: Ferrovial Servicios**

2 Modelo de contrato

3 Visión del mercado de los servicios energéticos

4 Innovación y TI en los servicios energéticos

5 Soluciones eficientes en contratos de SSEE

# Ferrovial
## Grandes cifras

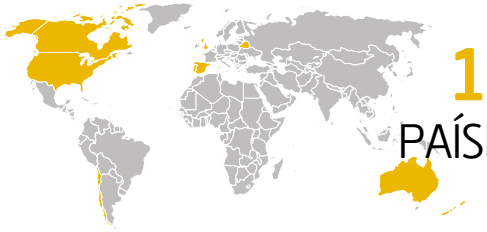
ferrovial

Servicios | Aeropuertos | Construcción | Autopistas

**Ferrovial Servicios**

Más de **79.000** EMPLEADOS

MM€ **7** VENTAS



**10** PAÍSES

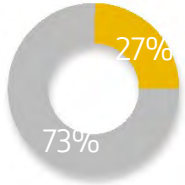
MM€ **20,9** CARTERA

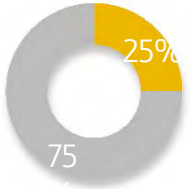
**Ferrovial Servicios ESPAÑA**

Más de **39.500** EMPLEADOS

MM€ **1,9** VENTAS

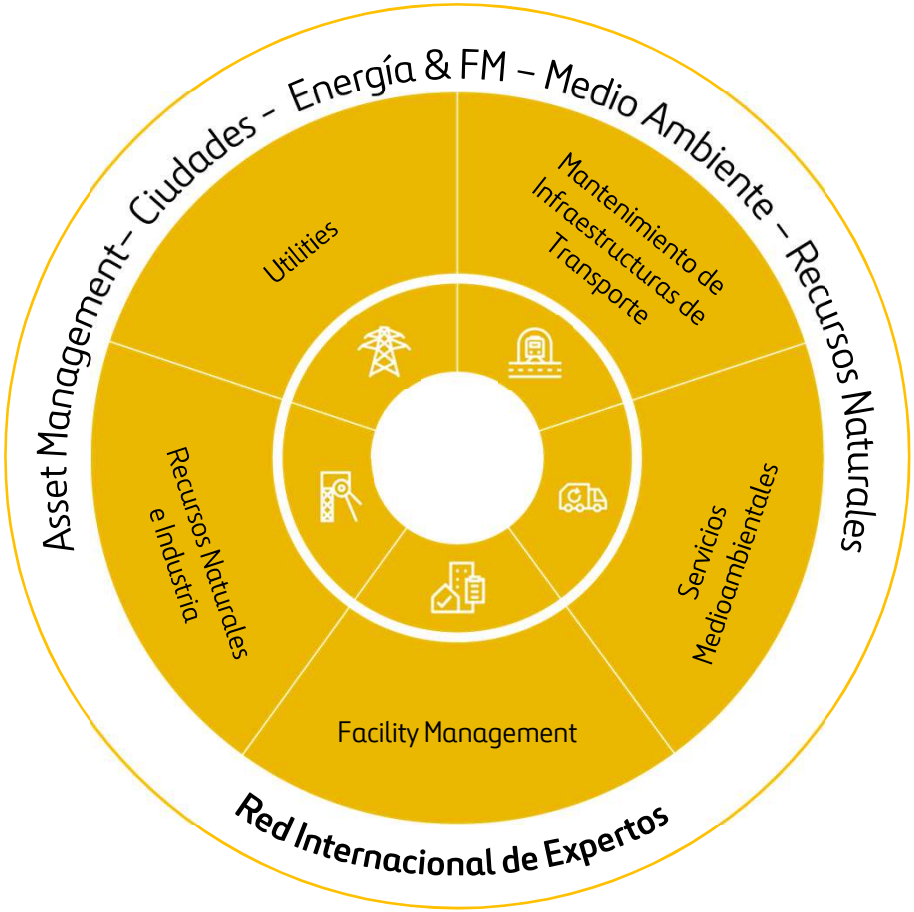
MM€ **5,2** CARTERA




Internacional FS España

# Ferrovial Servicios
## Catálogo de Soluciones




II Congreso Internacional Ingeniería Energética

# Servicios de Eficiencia Energética
## Alumbrado Público y Edificios

**+250.000**
puntos de luz

**60%**
Ahorro energético medio en alumbrado público

**+100**
edificios

**30%**
Ahorro energético medio en edificios

**+60 Millones €**
de inversión

# Índice


1 Visión General: Ferrovial Servicios

2 **Modelo de contrato**

3 Visión del mercado de los servicios energéticos

4 Innovación y TI en los servicios energéticos

5 Soluciones eficientes en contratos de SSEE

# Modelo de Contrato de Servicios Energéticos
## Definición y ventajas

***DIFINICIÓN***

*Las empresas de servicios energéticos (ESE) se definen como personas físicas o jurídicas que prestan servicios energéticos o aplican otras medidas de mejora de la eficiencia energética en las instalaciones o locales de un usuario. El pago de los servicios prestados se basa, en parte o totalmente, en la obtención de los ahorros energéticos convenidos asumiendo ésta el riesgo de las inversiones*

***VENTAJAS***

ECONÓMICAS
OPERTATIVAS
CALIDAD

# Modelo de Contrato de Servicios Energéticos
## Tipos de Contrato

| | CANON FIJO | PAGO POR CONSUMO | GARANTÍA DE CONSUMO |
|---|---|---|---|
| Ámbito de aplicación | Edificios y alumbrado público | Industrias , edificios distric heating | Edificios, alumbrado público e industria |
| Prestaciones | | | |
| Gestión y suministro de energía | ✓ | ✓ | ✓ *Pago de la energía a cargo del cliente |
| Mantenimiento integral | Conjunto de instalaciones | Solo central de producción | ✓ |
| Garantía total | Conjunto de instalaciones | Solo central de producción | ✓ |
| Ejecución y financiación de obras | ✓ | ✓ | ✓ |
| Ventajas | | | |
| Ahorro energético | Alto | Medio/Alto | Alto |
| Ahorro económico | Alto | Medio/Alto | Alto |
| Inversiones asociadas | Alto | Alto | Alto |

# Índice


1 Visión General: Ferrovial Servicios

2 Modelo de contrato

3 **Visión del mercado de los servicios energéticos**

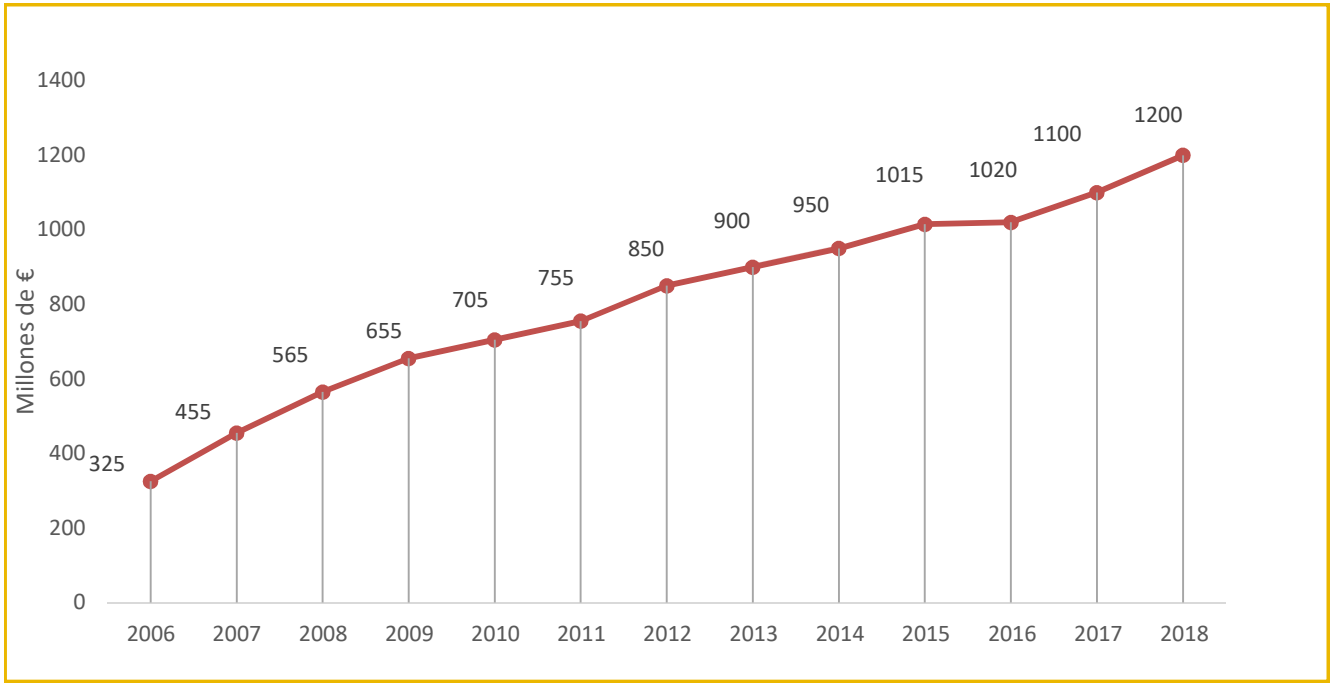
4 Innovación y TI en los servicios energéticos

5 Soluciones eficientes en contratos de SSEE

# Visión del Mercado de los Servicios Energéticos
## Fuerza competitiva y Factores Clave del Éxito

- **Riesgo de Demanda.** Cálculo mediante Herramientas Fiables.
- **Alto potencial de crecimiento del mercado**
- **Sólido posicionamiento de los principales operadores del sector**
- **Entrada de nuevas empresas:** aumento de la rivalidad en la adjudicación de los contratos
- **Diversificación de la actividad:** nuevos segmentos de demanda y zonas geográficas
- **Integración vertical de muchas empresas presentes en el sector**

# Visión del Mercado de los Servicios Energéticos
## Evolución del Mercado




| 45% | 15% | 14% | 12% | 11% |
|---|---|---|---|---|
| VIVIENDAS, OFICINAS Y ORGANISMOS PÚBLIOS | SECTOR HOSPITALARIO | INDUSTRIA | ALUMBRADO PÚBLICO | CENTROS EDUCATIVOS, CENTROS COMERCIALES Y HOTELES |

# Visión del Mercado de los Servicios Energéticos
## Amenazas, Oportunidades y Tendencias

*OPORTUNIDADES*

- **Positiva coyuntura económica**
- **Nuevas ayudas a** la financiación de proyectos de eficiencia energética enmarcadas en el Plan Nacional de Eficiencia Energética 2017-2020
- **Cambios en las normas europeas de contabilidad referentes a los contratos públicos de eficiencia energética**
- **Alto precio de la energía:** interés por proyectos de ahorro y eficiencia energética
- **Alto potencial de crecimiento del sector industrial como demandante de proyectos de mejora de eficiencia energética**

# Visión del Mercado de los Servicios Energéticos
## Amenazas, Oportunidades y Tendencias

*AMENAZAS*

- **Alta competencia entre las empresas** por la adjudicación de contratos de servicios energéticos: notable presión sobre los precios y los márgenes
- **Falta de financiación y dificultad de acceso al crédito**
- **Desconocimiento y desconfianza de las empresas de servicios energéticos por parte de potenciales clientes** así como de los ahorros obtenidos por la ejecución de proyectos de eficiencia energética

# Visión del Mercado de los Servicios Energéticos
## Amenazas, Oportunidades y Tendencias

*TENDENCIAS*

- **Creciente concentración de la actividad en los principales operadores,** que cuentan con mayor capacidad para desarrollar grandes proyectos de eficiencia energética
- **Incremento del número de empresas presentes en el sector**
- **Apoyo de la Administración** para la financiación de proyectos de servicios energéticos
- **Diversificación de la actividad** hacia nuevos sectores demandantes por parte de las empresas del sector
- **Establecimiento de acuerdos de colaboración financiera y técnica** de cara a acceder a grandes proyectos de servicios energéticos

# Índice


1 Visión General: Ferrovial Servicios

2 Modelo de contrato

3 Visión del mercado de los servicios energéticos

4 **Innovación y TI en los servicios energéticos**

5 Soluciones eficientes en contratos de SSEE

# Innovación y TI en los servicios energéticos
## Áreas de interés en el modelo de innovación

**A — Actitud hacia los retos de la sociedad**

**Seguridad**
**Condiciones de confort**
Innovación para todos
Conocimiento, cultura y ecosistema

**B — Excelencia operacional y crecimiento de los negocios**

**Automatización**
Automatización de tareas operacionales
Instalaciones inteligentes

**Movilidad**
Innovación en el negocio de movilidad
Flota

**Trabajador Digital**
Trabajador digital

**Gestión basada en Datos**
Operaciones dirigidas por datos
Asset Management
Tecnologías habilitadoras

**Economía Verde**
Cambio climático y energía
Economía circular

**C — Identificación y activación de oportunidades emergentes**

**Oportunidades Emergentes**
Nuevos modelos en servicios actuales
Soporte a nuevas oportunidades de negocio

# Índice


1 Visión General: Ferrovial Servicios

2 Modelo de contrato

3 Visión del mercado de los servicios energéticos

4 Innovación y TI en los servicios energéticos

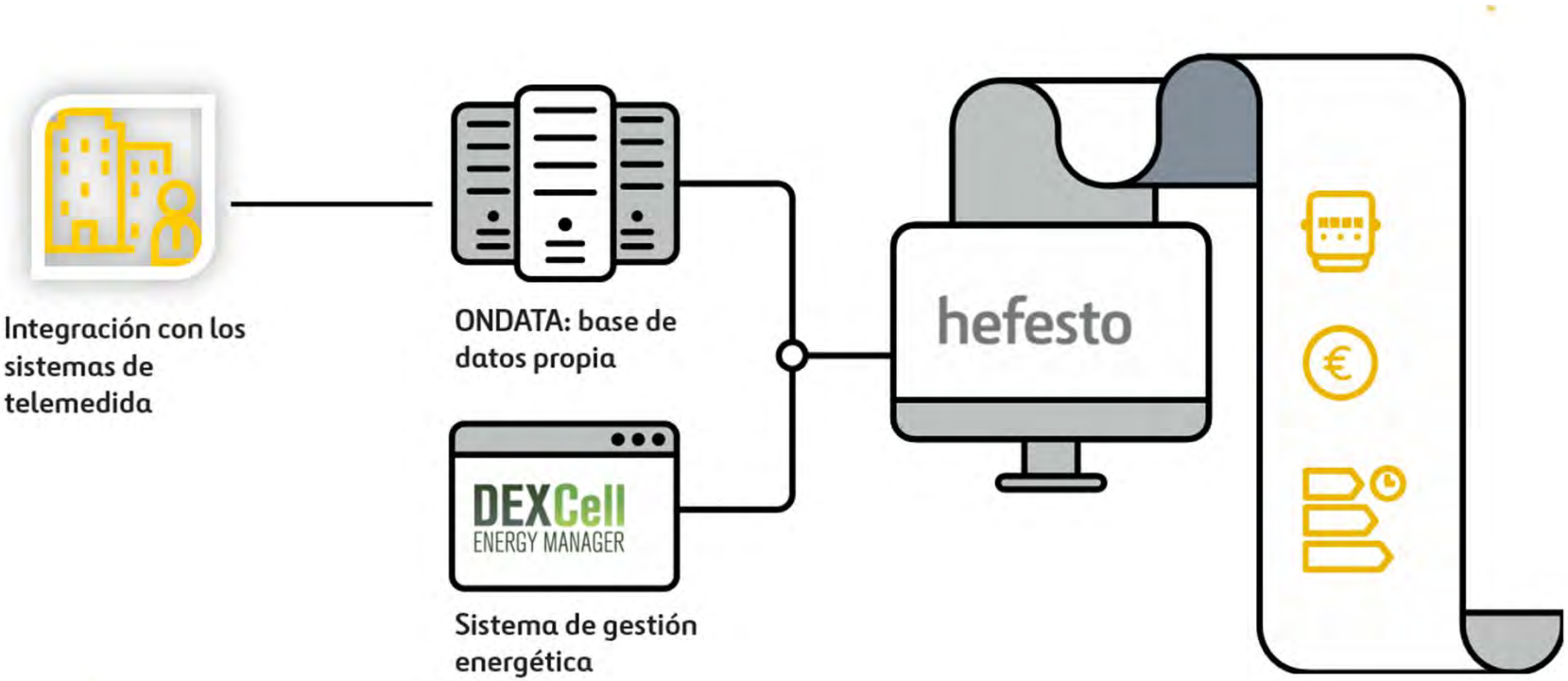
5 **Soluciones eficientes en contratos de SSEE**

# Hefesto y el Centro de Control de Energía

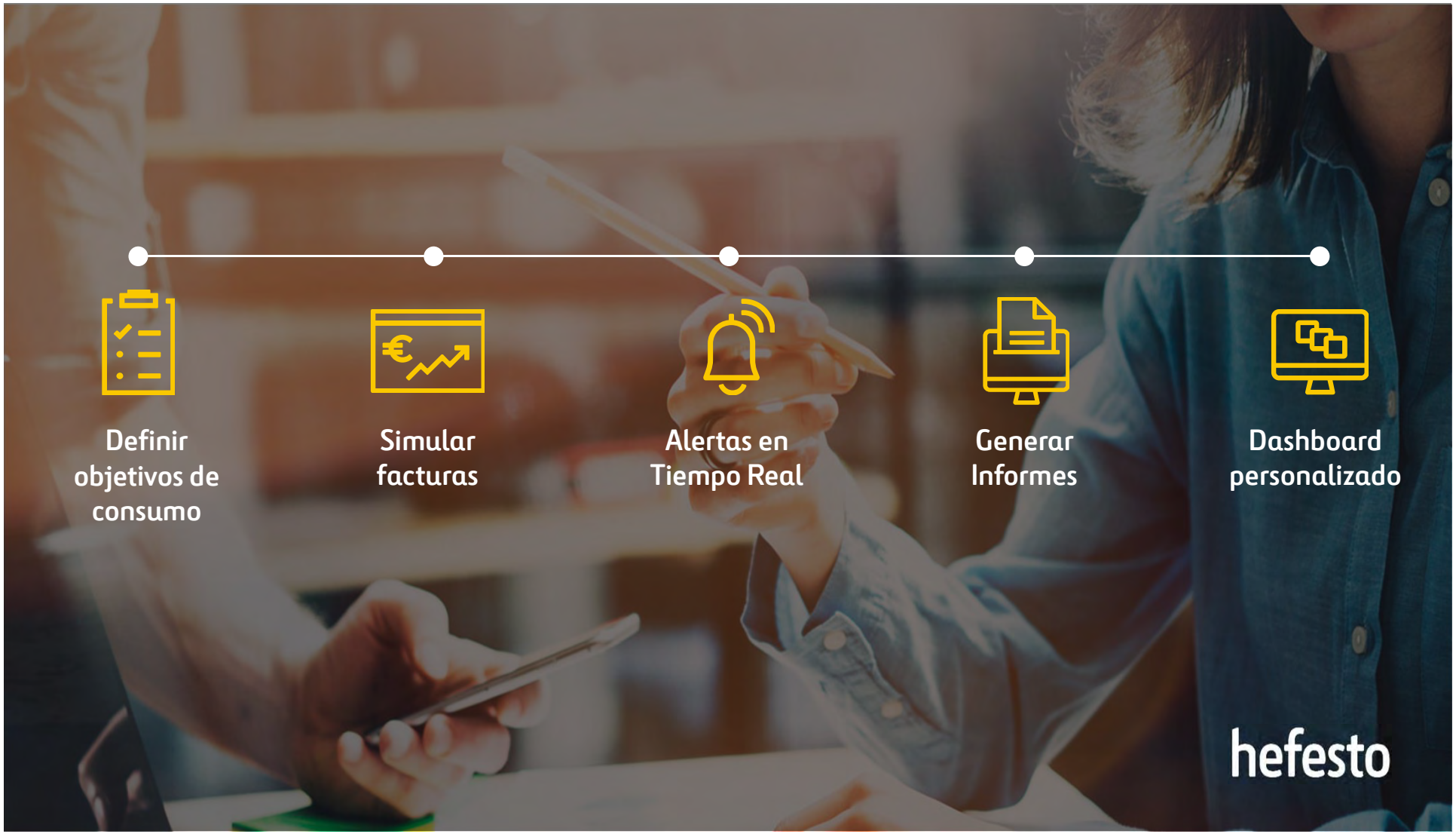
## Tecnología para la optimización y seguimiento energético

Sistema de gestión de la energía

## Soluciones eficientes en contratos de SSEE
¿Qué es Hefesto?



# Soluciones eficientes en contratos de SSEE
## Funcionalidades de Hefesto



## Soluciones eficientes en contratos de SSEE
Beneficios y resultado de Hefesto

**4 %**

**De ahorro sin necesidad de inversiones**

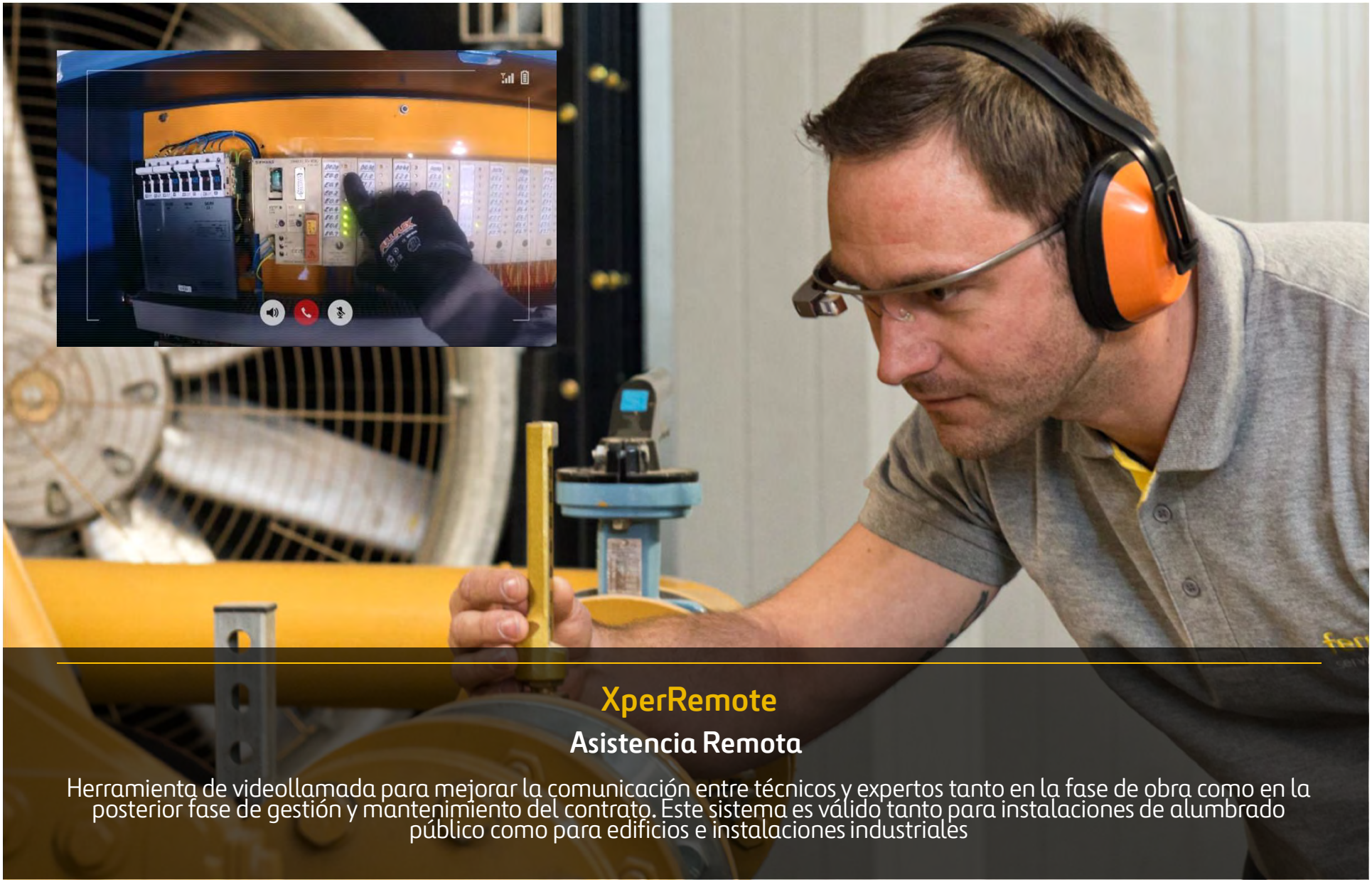
Detección anticipada

Mejora de la regulación en el Alumbrado Público

Optimización de patrones de funcionamiento y rendimientos en calderas y enfriadoras

Optimización de la contratación de suministro energético

Consumos fuera de horario en Edificios



## XperRemote

### Asistencia Remota

Herramienta de videollamada para mejorar la comunicación entre técnicos y expertos tanto en la fase de obra como en la posterior fase de gestión y mantenimiento del contrato. Este sistema es válido tanto para instalaciones de alumbrado público como para edificios e instalaciones industriales

EM España Andalucía

SEGURIDAD

Blindaje 3.0 en la Madrugá de Sevilla: cien cámaras y luces inteligentes contra avalanchas

CHEMA RODRÍGUEZ Sevilla 9 MAR. 2018 | 20:21

El Confidencial

Sevilla tira de inteligencia artificial y medidas antipánico para blindar su Semana Santa

Un proyecto 'Smart City' convierte la ciudad en un banco de pruebas para medidas pioneras en seguridad como luces graduables en segundos o un control preciso de las clásicas 'bullas'

Diario de Sevilla

INICIO OPINIÓN REPORTAJES SERIES EL RETRATO GALERÍAS GRÁFICAS VÍDEOS ESPECIAL MADRUGADA

EL PALQUILLO

El Ayuntamiento instalará 18 cámaras de aforamiento

- El alcalde presenta el proyecto piloto de smart city para la Semana Santa en el que participan las empresas Bosch, Telefónica, Cisco y Ferrovial servicios.

# Iluminación inteligente de cascos históricos

## Sistema de control de iluinación

Sistema de control para la regulación de la intensidad y temperatura de color del alumbrado público del casco histórico de Sevilla utilizando inteligencia artificial

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

ferrovial servicios

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# La Eficiencia Energética en los Servicios

**Autor(es) de la comunicación: R. Ramos**[1]

1 Ferrovial Servicios. C/Quintanavides 21, 28050, Madrid. rramos@ferrovial.com. Ramos Gamero, Raúl

**Resumen:** El mercado de los Servicios energéticos ha sido un mercado en continuo crecimiento en España en los últimos 12 años. En consonancia con las políticas europeas, este tipo de servicios contribuye a los objetivos medioambientales europeos y nacionales. Además de una visión del mercado en este sector, se pretende mostrar algunos factores clave para el éxito en la gestión de estos servicios, así como herramientas tecnológicas que permiten a Ferrovial Servicios gestionar con éxito este tipo de contratos.

**Palabras clave:** Empresas de Servicios Energéticos, Innovación, TIC, gestión y operación eficiente.

## 1. INTRODUCCIÓN

Ferrovial Servicios, como empresa líder en el mercado de servicios está especializada en la gestión energética en sentido amplio, incluyendo el desarrollo de tecnologías para la mejora de la eficiencia, tanto para clientes públicos como privados. Además, ofrece soluciones específicas para el entorno industrial, que se ajustan a las operaciones del cliente y permiten reducir sustancialmente el coste energético de sus plantas de producción.

Como empresa de servicios energéticos (ESE), trabaja aportando un ahorro constante y una mejora continua de las instalaciones del cliente durante toda la duración del acuerdo. En los contratos de servicios energéticos se genera un aumento de la eficiencia y el ahorro con respecto a los contratos de servicios tradicionales. Todo ello gracias a la innovación e inversión en soluciones de eficiencia energética, junto con un plan de incentivos que reduce el consumo de energía.

Ferrovial Servicios estudia cada caso y ajusta la solución a las necesidades particulares de cada cliente, siendo consciente del impacto durante su implantación. Durante este proceso y el desarrollo del proyecto por fases, el Centro de Competencia de Energía y Facility Management acompaña a las operaciones y pone a disposición de los clientes un equipo multidisciplinar de expertos.

## 2. MERCADO DE SERVICIOS ENERGÉTICOS

Las empresas de servicios energéticos (ESE) se definen como personas físicas o jurídicas que prestan servicios energéticos o aplican otras medidas de mejora de la eficiencia energética en las instalaciones o locales de un usuario. El pago de los servicios prestados se basa, en parte o totalmente, en la obtención de los ahorros energéticos convenidos asumiendo ésta el riesgo de las inversiones.

### 2.1. Fuerza competitiva y factores clave del éxito

En 2016 se publicó Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero, por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía.

Entre las principales novedades que introduce la nueva normativa destaca la obligación para las grandes empresas (250 empleados o más y volumen de negocio superior a los 50 millones de euros) de someterse a una auditoría energética cada cuatro años que cubra, al menos, el 85% del consumo

total de energía final del conjunto de las instalaciones de la empresa en España. Junto a esta obligación, establece los requisitos necesarios para actuar como auditor energético.

Además, el Real Decreto establece que cada cinco años el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (hoy Ministerio para la Transición Ecológica) llevará a cabo y notificará a la Comisión Europea, una evaluación completa del potencial de uso de la cogeneración de alta eficiencia y de los sistemas urbanos de calefacción y refrigeración eficientes.

Por otro lado, con la finalidad de cumplir con el objetivo de ahorro energético establecido por el Sistema Nacional de Obligaciones de Eficiencia Energética previsto en la Directiva 2012/27/UE, en 2014 se constituyó el Fondo Nacional de Eficiencia Energética para la financiación de mecanismos de apoyo orientados a incrementar la eficiencia energética.

En base al citado Fondo, en 2015 se pusieron en marcha varios programas de ayudas: PYME y gran empresa sector industrial, renovación de las instalaciones de alumbrado exterior municipal y actuaciones de cambio modal y uso más eficiente de los modos de transporte. En 2017 se ha iniciado una segunda convocatoria con un presupuesto adicional en los tres programas citados.

Para el periodo 2014 – 2020 la Unión Europea estableció los Fondos Estructurales y de Inversión Europeos (los Fondos EIE) que tienen como objetivo promover la competitividad y la convergencia de todos los territorios y son un instrumento esencial para hacer frente a los principales retos de desarrollo de España y en la aplicación de la Estrategia Europa 2020. Los Fondos EIE están compuestos de cinco fondos, entre los que se encuentra el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)

En este marco, el IDAE, como Organismo Intermedio de FEDER ha puesto en marcha programas de ayudas para proyectos de ahorro y eficiencia energética, bien bajo la forma de subvenciones o de préstamos a bajo interés, dirigidos a diferentes tipos de beneficiarios: Ayuntamientos y Entidades Locales, empresas (con especial atención a PYMES), y comunidades de propietarios, para desarrollar proyectos de renovación del alumbrado exterior municipal o de mejora de la eficiencia energética de los procesos industriales o de los edificios, tanto de uso residencial como los de uso terciario.

Entre ellos en 2015 se amplió en 75 millones de euros el presupuesto para el programa de ayudas para rehabilitación energética de edificios existentes (PAREER-CRECE) puesto en marcha en 2013 con una dotación inicial de 125 millones de euros.

Además, en 2016 se puso en marcha el programa de actuaciones de eficiencia energética en el sector ferroviario y en 2017 el de actuaciones de eficiencia energética en desaladoras.

Por otro lado, el IDAE actúa como Organismo Intermedio para el Fondo JESSICA-F.I.D.A.E., dotado con cerca de 123 millones de euros y cofinanciado por el IDAE y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Dicho fondo está destinado a financiar proyectos de desarrollo urbano sostenible que mejoren la eficiencia energética y/o utilicen las energías renovables, finalizando el plazo de vigencia para el desembolso de la financiación en junio de 2016. Se amplió una segunda convocatoria hasta abril de 2018 con 48 millones adicionales.

En cumplimiento con la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo que exige a los estados miembros de la Unión Europea la presentación de un plan de eficiencia energética cada tres años, España presentó en 2017 su Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética (PNAEE) para el

periodo 2017-2020 que fomenta acciones concretas para materializar el potencial de ahorro energético.

En el marco del citado plan se inscriben distintos programas de ayuda de financiación para la realización de proyectos de eficiencia energética en diversos sectores financiados por el Fondo Nacional de Eficiencia Energética, y gestionados a través del IDAE.

Así, a finales de 2017, el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (MINETAD) publicó las bases de la segunda convocatoria del programa de ayudas a la rehabilitación energética de edificios existentes (PAREER II) que financia mejoras en el aislamiento térmico, en la eficiencia de la iluminación o el cambio de energía convencional por energía solar térmica o geotérmica. El programa que inicialmente contaba con una dotación de 125,6 millones de euros vio ampliado su presupuesto en 78 millones de euros adicionales en marzo de 2018
.
También a finales de 2017 se amplió en 104,4 millones de euros el presupuesto de la segunda convocatoria del programa de ayudas de eficiencia energética para actuaciones en pymes y grandes empresas del sector industrial, que contaba inicialmente con un presupuesto de 63,7 millones de euros.

Además, en octubre de 2017, el MINETAD, en colaboración con el Instituto de Crédito Oficial (ICO) abrió la línea de financiación ICO-IDAE Eficiencia Energética 2017-2018, dotada con un importe de 100 millones de euros para proyectos de mejora de la eficiencia energética, de los cuales 70 millones se destinarán a pymes y grandes empresas del sector industrial y comercial, y los otros 30 millones a empresas del sector hostelero.

Todas las líneas de apoyo dirigidas a mejorar la eficiencia energética de edificios e instalaciones incluyen como posibles beneficiarios a las empresas de servicios energéticos, con el fin de fomentar este tipo de contratación. A pesar de las ayudas desarrolladas por la Administración, el sector se ha enfrentado a barreras regulatorias y financieras que frenan las inversiones a largo plazo en eficiencia energética, sobre todo en el sector público.

En este sentido, hasta septiembre de 2.107 las normas europeas de contabilidad establecían que los contratos de eficiencia energética en el sector público se computasen como déficit y deuda pública. Este hecho dificultaba que Administraciones públicas realizaran contratos de Servicios, puesto que generarían un déficit prohibido por la legislación.

En la mencionada fecha, Eurostat publica la *"Eurostat Guidance note on the revised treatment of Energy Performance Contracts in government accounts*". Se trata de una nota de orientación sobre el tratamiento revisado de los contratos de rendimiento energético (EPC) en las cuentas públicas. Adicionalmente, en mayo de 2.018, la Oficina Estadística de la Comisión Europea, Eurostat , y el Banco Europeo de Inversiones BEI publicaron una *Guía para el tratamiento estadístico de los contratos de rendimiento energético* para introducir aclaraciones adicionales sobre el tratamiento estadístico de los EPC y así abordar uno de los muchos problemas prácticos que las autoridades públicas han de considerar a la hora de implementar y financiar mejoras en la eficiencia energética mediante la contratación externa de desempeño energético, sin computar como déficit y deuda pública.

En el ámbito del sector privado, el sector sigue enfrentándose a diferentes obstáculos, como la desconfianza en el modelo ESE, la falta de financiación adaptada, la complejidad de los contratos y la baja tendencia a la externalización de la gestión energética.

No obstante, el sector cuenta con un elevado potencial de crecimiento que hace que resulte atractivo para empresas de sectores afines, para las que supone una oportunidad de diversificación de su actividad principal aprovechando sus conocimientos técnicos. En este sentido, destacan las empresas procedentes de los sectores de construcción, energía eléctrica, ingeniería, instalaciones y mantenimiento y fabricantes de equipos de regulación y control

El aumento del número de operadores está provocando un aumento de la rivalidad competitiva entre las empresas en la adjudicación de contratos de servicios energéticos, apreciándose un incremento de la presión sobre los precios.

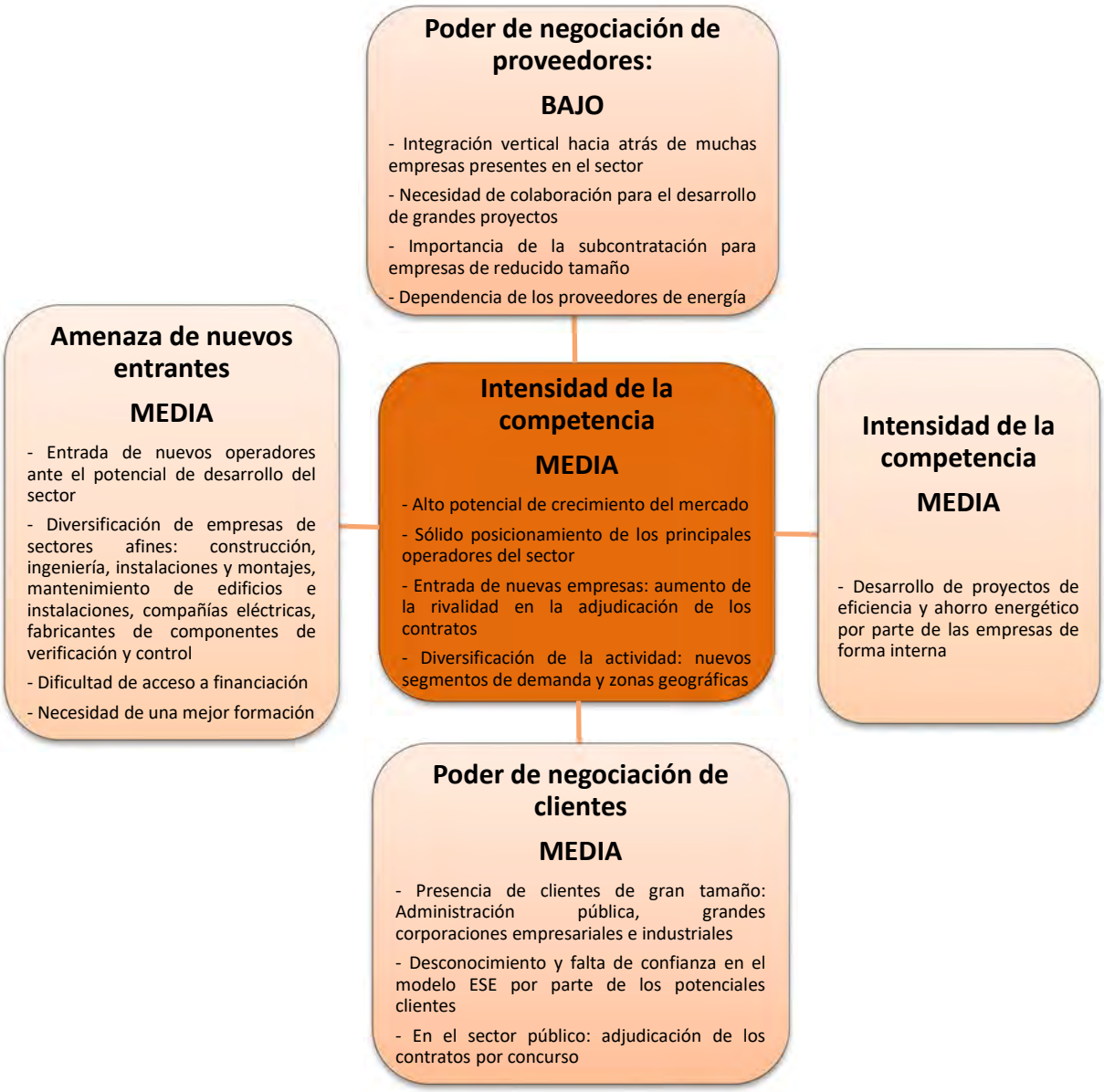



**Figura 1.** *Fuerzas competitivas relevantes del mercado de Servicios Energéticos*

## 1.2. Evolución del mercado

Si atendemos a la distribución del consumo de energía final por sectores de los últimos años, aproximadamente el 23 % del consumo fue del sector industrial y el 11 % para el sector servicios (edificios de la administración, educativos, sanitarios, comercios, oficinas, restaurantes y sector hotelero).

Tras la positiva evolución del negocio de las empresas de servicios energéticos, que culminó en 2015 con un aumento del 6,8%, en 2016 se registró una marcada desaceleración en el ritmo de crecimiento de los ingresos del sector. Así, el volumen de negocio derivado de la prestación de servicios energéticos en edificios e instalaciones se situó en 1.020 millones de euros, lo que supuso solo un 0,5% más que en 2015.

En este sentido, las barreras regulatorias y financieras frenaron las inversiones en proyectos de eficiencia energética, tanto en el sector público como en el sector privado.

A continuación, se situaron los proyectos de alumbrado público, que tras protagonizar un importante dinamismo en los años 2014 y 2015, en 2016 redujeron ligeramente su peso en el sector, representando el 13% del volumen de negocio total.

El volumen de negocio derivado de la prestación de servicios dirigidos a la mejora de la eficiencia energética en edificios y otras instalaciones recuperó en 2017 la tendencia de crecimiento de años anteriores, tras un 2016 en el que la actividad registró una significativa desaceleración.

Así, el volumen de negocio sectorial alcanzó los 1.200 millones de euros en 2.018, lo que supuso un crecimiento del 9 % respecto al año anterior, en el que se había contabilizado un aumento del 7,8%.

Los segmentos de viviendas, edificios de oficinas y organismos públicos suponen conjuntamente casi el 45% del valor total del mercado.

El sector hospitalario se sitúa en tercer lugar, reuniendo los proyectos de eficiencia energética en hospitales el 15% del volumen de negocio sectorial, mientras que las plantas industriales supusieron el 14%.

A continuación, se sitúan los proyectos de alumbrado público, que representaron el 12% de la facturación sectorial, porcentaje ligeramente inferior al registrado en años anteriores. Por último, con un peso menor sobre el mercado se sitúan otras instalaciones como colegios y universidades, centros comerciales y hoteles (11%).

En cuanto a la distribución del mercado por tipo de cliente, el sector privado concentró el 65% del total, unos 715 millones de euros, mientras que el 35% restante, unos 385 millones de euros, correspondió al sector público.

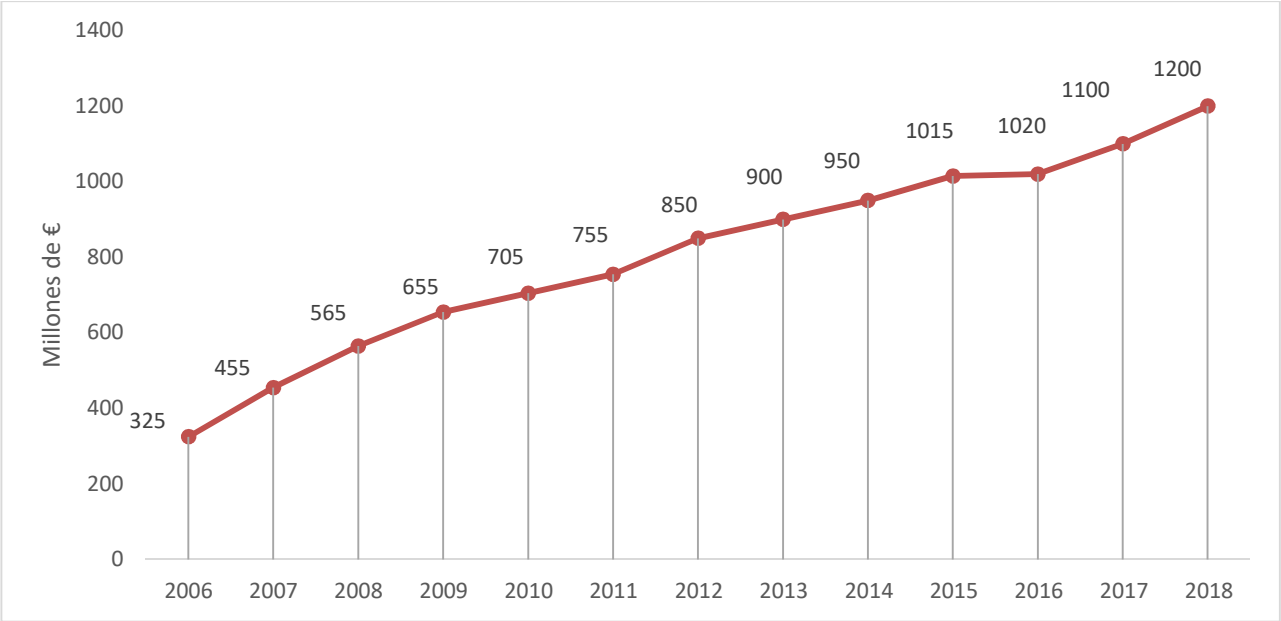



**Gráfico 1.** *Evolución del mercado de servicios energéticos 2006-2018 correspondiente a ingresos derivados de la prestación de servicios dirigidos a la mejora de la eficiencia energética en edificios y otras instalaciones. Incluye auditoría energética, diseño de proyectos de ahorro y eficiencia energéticos, implantación de dichos proyectos, gestión y mantenimiento de las instalaciones, y control, medición y verificación de los ahorros conseguidos. Fuente: DBK informa*

| | 07/06 | 08/07 | 09/08 | 10/09 | 11/10 | 12/11 | 13/12 | 14/13 | 15/14 | 16/15 | 17/16 | 18/17 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| % Var. | 40,00% | 24,18% | 15,93% | 7,63% | 7,09% | 12,58% | 5,88% | 5,56% | 6,84% | 0,49% | 7,84% | 9,09% |
| % Var media | 11,93 % | | | | | | | | | | | |

**Tabla I.** *Variación de mercado de servicios energéticos 2006-2018*

## 1.3 Amenazas oportunidades y tendencias

La ampliación de los programas de ayudas destinados a proyectos de eficiencia energética enmarcados en el Plan Nacional de Eficiencia Energética 2017-2020 supondrá un impulso para el crecimiento del sector de servicios energéticos en los próximos años.

Entre las nuevas medidas adoptadas en 2019 destacan las ayudas recogidas en el Real Decreto 263/2019 que regula el Programa de ayudas para actuaciones de eficiencia energética en pymes y grandes empresas del sector industrial, que potenciará la demanda procedente del sector industrial.

Las nuevas ayudas aprobadas en abril de 2019 procedentes del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) para la ejecución de las actuaciones que favorezcan el paso a una economía baja en carbón en municipios y ciudades también impulsarán la contratación de servicios energéticos en este ámbito.

Además, el aumento del precio de la energía impulsará también la necesidad de ahorro y mejora de la eficiencia energética de las instalaciones industriales.

Por su parte, la demanda de contratos de servicios energéticos por parte de las Administraciones públicas crecerá previsiblemente, gracias a los recientes cambios de las normas europeas de contabilidad. A este respecto, en septiembre de 2017 la Oficina Europea de Estadística (Eurostat)

publicó la modificación del tratamiento contable de los contratos de rendimiento energético, que desde esa fecha dejan de contabilizarse como deuda, como se contabilizaba hasta entonces.

El régimen de contabilidad anterior dificultaba la contratación de proyectos de servicios energéticos por parte de organismos y ayuntamientos, al aumentar su déficit más allá de lo permitido por la legislación. Por esta razón, cabe esperar que ayuntamientos, hospitales, centros educativos y otras entidades de gestión pública demanden más contratos de rendimientos energéticos en los próximos años.

Finalmente, es previsible que las empresas de servicios energéticos diversifiquen su actividad buscando contratos de eficiencia energética en otros sectores de demanda.

| OPORTUNIDADES |
|---|
| •Positiva coyuntura económica<br>•Nuevas ayudas a la financiación de proyectos de eficiencia energética enmarcadas en el Plan Nacional de Eficiencia Energética 2017-2020<br>•Cambios en las normas europeas de contabilidad referentes a los contratos públicos de eficiencia energética<br>•Alto precio de la energía: interés por proyectos de ahorro y eficiencia energética<br>•Alto potencial de crecimiento del sector industrial como demandante de proyectos de mejora de eficiencia energética |
| **AMENAZAS** |
| •Alta competencia entre las empresas por la adjudicación de contratos de servicios energéticos: notable presión sobre los precios y los márgenes<br>•Falta de financiación y dificultad de acceso al crédito<br>•Desconocimiento y desconfianza de las empresas de servicios energéticos por parte de potenciales clientes así como de los ahorros obtenidos por la ejecución de proyectos de eficiencia energética |
| **TENDENCIAS** |
| •Creciente concentración de la actividad en los principales operadores, que cuentan con mayor capacidad para desarrollar grandes proyectos de eficiencia energética<br>•Incremento del número de empresas presentes en el sector: diversificación hacia el sector de empresas procedentes de sectores afines como instalaciones y montajes, empresas de ingeniería y de construcción, mantenimiento, fabricantes de equipos de verificación y control<br>•Apoyo de la Administración para la financiación de proyectos de servicios energéticos<br>•Diversificación de la actividad hacia nuevos sectores demandantes por parte de las empresas del sector<br>•Establecimiento de acuerdos de colaboración financiera y técnica de cara a acceder a grandes proyectos de servicios energéticos |

**Tabla II.** *Oportunidades, amenazas y tendencias del mercado de los servicios energéticos*

## 3. EL PAPEL DE LA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Se ha demostrado que, para el éxito de una empresa de Servicios Energéticos, todos los estamentos orgánicos de la compañía deben estar implicados en el modelo de negocio. Sólo desde la innovación y la excelencia en el trabajo se puede tener éxito en este sector, orientando los esfuerzos hacia la digitalización de procesos y el rediseño de operaciones.

Sin duda la implantación de tecnologías de información y comunicación han mejorado la competitividad de las Empresas de Servicios Energéticos, tanto a nivel organizativo como en el desarrollo de proyectos de eficiencia energética. Por ello las TIC forman parte activa, tanto en la

implementación de medidas de eficiencia energética, en la gestión interna de los activos consumidores, como en el seguimiento operativo de éstas y en la ayuda a la gestión y la facturación de las fuentes energéticas.

Es en este ámbito es donde se encuentran las tendencias más relevantes, es decir, en los sistemas de control y gestión energética dotando de tecnología a la operativa de instalaciones y a su gestión.

No es despreciable las evidentes mejoras tecnológicas en el aspecto de rendimientos energéticos de productos para la generación y recuperación de frío y calor, equipos para la generación de energía renovable, y en el ámbito de iluminación, con la tecnología led. Es aún más destacable que los fabricantes de estos equipos sigan invirtiendo en innovación e I+D para ofrecer soluciones evolucionadas y más eficientes cada año.

Lógicamente el coste tecnológico y su desarrollo son la mayor barrera para alcanzar los objetivos, pero la necesidad de ganar competitividad son suficientes motivos de peso para superarla. En este sentido, los proveedores y las empresas usuarias que apuestan por la innovación en la fabricación y el uso de tecnología son fundamentales en el impulso del sector.

Está claro que no se podrá ser eficiente energéticamente si no se hace uso de la tecnología, aunque, considerándolo un ítem necesario, no podrá hacerse efectivo sin un buen comisionado de su implantación, mantenimiento y gestión para lo que se necesita cualificación en todos los estamentos de las organizaciones implicadas. Es decir, aunque la innovación y la implantación de TICs hace mejores a las empresas de servicios energéticos, es la cualificación, profesionalidad y formación de los profesionales del sector lo que completa el éxito de la implantación de las mismas.

## 4. SOLUCIONES EFICIENTES EN CONTRATOS DE SERVICIOS ENERGÉTICOS

No es objeto de este apartado destacar las bondades de la implantación de equipamiento y productos para la eficiencia y ahorro energético, a la vista de las evidentes mejoras tecnológicas en el aspecto de rendimientos energéticos de productos para la generación y recuperación de frío y calor, equipos para la generación de energía renovable, y en el ámbito de iluminación, con la tecnología led. Se pretenden exponer soluciones tecnológicas para la gestión eficiente de un contrato de servicios energéticos, como parte del éxito del mismo y que redundan en la eficiencia energética.

Las tendencias más relevantes en este aspecto se encuentran en los sistemas de control y gestión energética dotando de tecnología a la operativa de instalaciones y a su gestión.

### 4.1. Proyecto Hefesto y Centro de control de Energía:

Ferrovial Servicios estructura la gestión de la componente energética de un contrato de servicios energéticos en tres bloques.

- Gestión energética:
    - Gestión del consumo energético
    - Gestión de los costes energéticos
- Gestión de facturación

Tanto la gestión energética como la gestión de facturación se realiza mediante una única herramienta, que llamamos “**Hefesto**”

Este proyecto es una integración de equipos de campo, una base de datos propia y un software de gestión energética, integrados en un espacio de trabajo colaborativo, en contacto con las instalaciones que centraliza la gestión energética y el know-how de los contratos. En el proyecto Hefesto se gestionan más de 315 GWh de energía y más de 4000 CUPS con instalaciones de muchas tipologías, desde centros hospitalarios, centros deportivos, oficinas, colegios, plantas de tratamiento de residuos o Distric Heatings y centrales de producción. Con este proyecto se pueden definir y hacer seguimiento de objetivos de consumos siguiendo la metodología de la ISO 50001, se pueden realizar simulaciones de facturas, previsiones de consumos, envío de alertas de consumos, verificación de ahorros, optimización de tarifas contratadas, generar informes o ajustar y mejorar patrones de funcionamiento.

**Imagen 1.** *Pantalla de localización de edificio controlado por Hefesto*

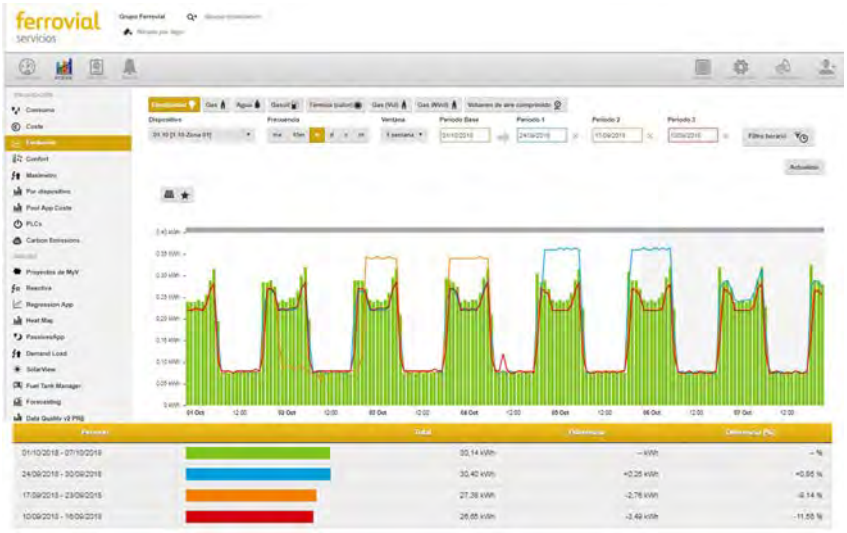



**Imagen 2.** *Pantalla de evolución energética comparativa de Hefesto*

Para realizar el correcto análisis, control y seguimiento de consumos, costes y facturaciones, no basta con tener las herramientas de gestión energética, sino que se necesita personal especializado y con dedicación exclusiva en este ámbito.

Por ello, Ferrovial Servicios ha creado un Centro de Control de Energía. Este centro está a la vanguardia en cuanto a tecnología y comunicación se refiere, teniendo acceso ya no sólo a las aplicaciones de gestión mencionadas sino también a los sistemas de gestión (BMS) de los edificios si los hubiera. Esto permite actuar de forma remota siempre coordinada con el gestor del contrato sobre los parámetros de funcionamiento y recuperar información que permita a los técnicos especialistas analizar el óptimo patrón de funcionamiento.

La gestión de estos consumos se realiza de forma global y centralizada por un equipo multidisciplinar en comunicación directa con los gestores y operarios de contrato. Con esto se garantiza:

- Inmediatez en la identificación de alteraciones o ausencias de consumo.
- Optimización de los horarios de funcionamiento y curvas de regulación.
- Mejora de los parámetros de funcionamiento de los grandes equipos consumidores de energía como son calderas, enfriadoras y bombas de calor. Adecuando sus parámetros de funcionamiento las necesidades de la instalación.
- Transmisión de know-how entre contratos replicando los puntos fuertes detectados y eliminando los puntos débiles.

**Fotografía 1.** Centro de control de energía de Ferrovial Servicios

### 4.2. XPERemote: Asistencia remota

Ferrovial Servicios implanta un novedoso sistema de asistencia remota, **XPERemote** en sus contratos de Servicios Energéticos, entre otros. Ésta es una herramienta de videollamada para mejorar la comunicación entre técnicos y expertos tanto en la fase de obra como en la posterior fase

de gestión y mantenimiento del contrato. Este sistema es válido tanto para instalaciones de alumbrado público como para edificios e instalaciones industriales.

Dicha herramienta permite conectar al "técnico" de campo a través de un dispositivo móvil (Smartphone, Tableta o Smartglass) con un "experto" (oficina o campo) y poder transmitir la imagen y el audio en tiempo real al Experto. A la vez, el Experto podrá dar indicaciones, totalmente contextualizadas a la operación, a través de voz, texto, diagramas, planos o imágenes. También se podrán grabar las sesiones para formación o motivos de trazabilidad.

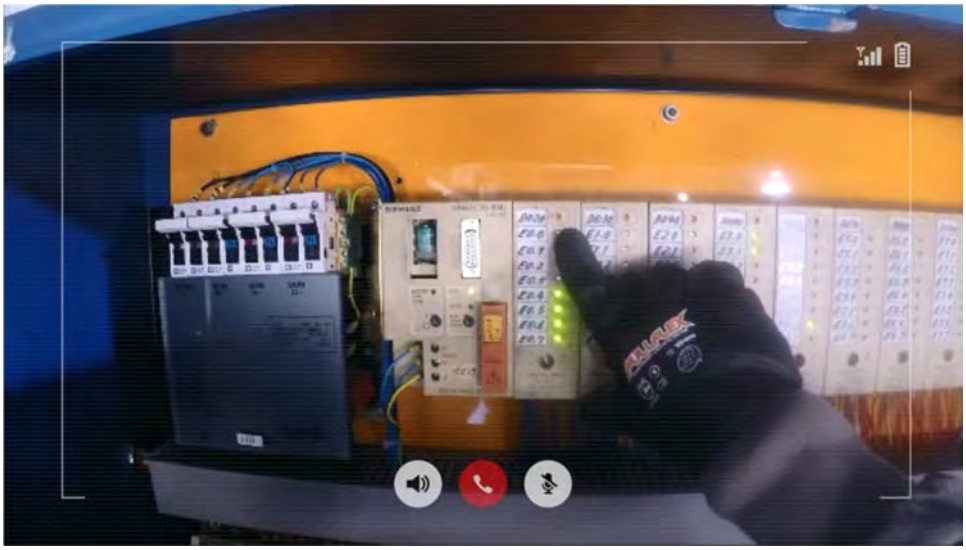
**Fotografía 2.** *Smartglass*

Dicha herramienta permitirá optimizar las operaciones, mejorar el diagnóstico, ahorrar tiempo, y disminuir riesgos.

Este sistema consta de una plataforma basada en un backoffice y una aplicación para los dispositivos móviles (smartphone, tablet y smartglass). El backoffice es el entorno destinado a los administradores y expertos para poder gestionar usuarios, contenido, sesiones y poder contactar con los técnicos desplazados. El panel de control del backoffice tiene acceso a todas las opciones de interacción con el técnico:

- Transmisión de audio
- Transmisión de video
- Transmisión de imágenes, mapas, diagramas
- Transmisión de texto, puntero remoto
- Gestión y visualización de grabaciones
- Registro de llamadas

Mediante el uso de esta herramienta, el operario puede recibir asistencia de manera visual en tareas que no le son familiares, reduciendo los tiempos de resolución de dudas, y por tanto, el tiempo de actuación y cierre de incidencias. Igualmente, puede recibir instrucciones de manera escrita y diagramas de cuadros eléctricos y esquemas de instalaciones para conocer la localización de cada elemento.



**Fotografía 3.** *Pantalla de visualización de las Smartglass*

### 4.3 Street Scanner

Street Scanner es una aplicación capaz de geolocalizar las luminarias e identificar el grado de luminosidad de las mismas, permitiendo inventariar las instalaciones y detectar los puntos donde el nivel de iluminación no es el adecuado. Así mismo es capaz de detectar alteraciones o desperfectos a partir del uso de dispositivos móviles.

El proyecto nace fruto de la colaboración de Ferrovial Servicios y el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). El MIT, localizado en Cambridge, Massachusetts, una de las universidades más prestigiosas de los Estados Unidos, de la que cabe resaltar su fuerte énfasis en la investigación, la ingeniería, y la educación tecnológica.

Street Scanner supone un paso adelante en la gestión de activos proporcionando una herramienta potente y fiable con la que realizar inventariados, análisis, etc. de forma rápida apoyándose en el uso de la tecnología actual. Las diferentes posibilidades que ofrece el sistema son las siguientes:

- Detección y visualización de daños en la superficie
- Medición y localización de luminarias
- Medición de la geometría de vías
- Mediciones puntales
- Integración de la nube

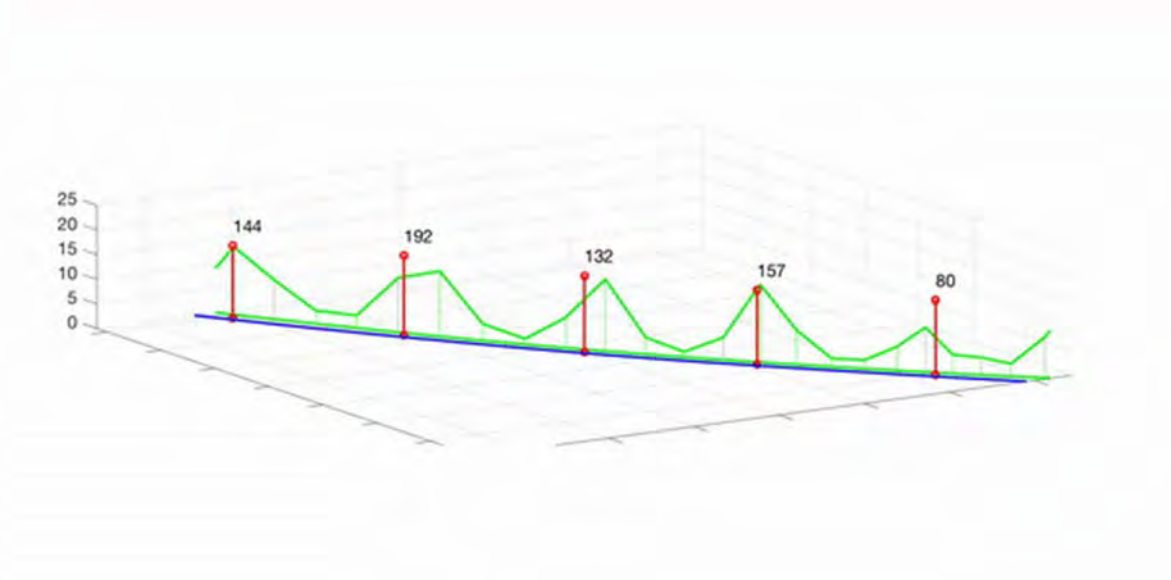



**Imagen 3.** *Altura y posición de las luminarias, niveles de iluminación y potencia*

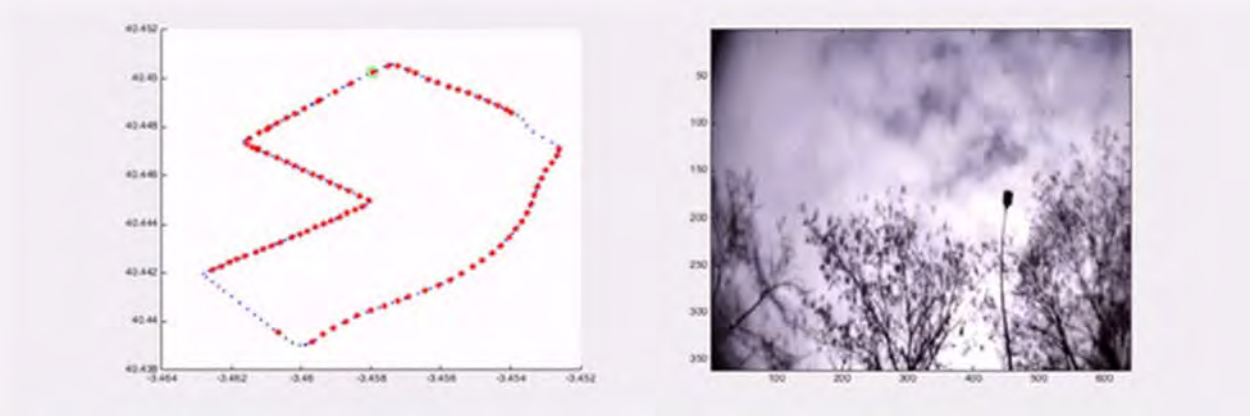


**Imagen 4.** *Registro de imágenes*

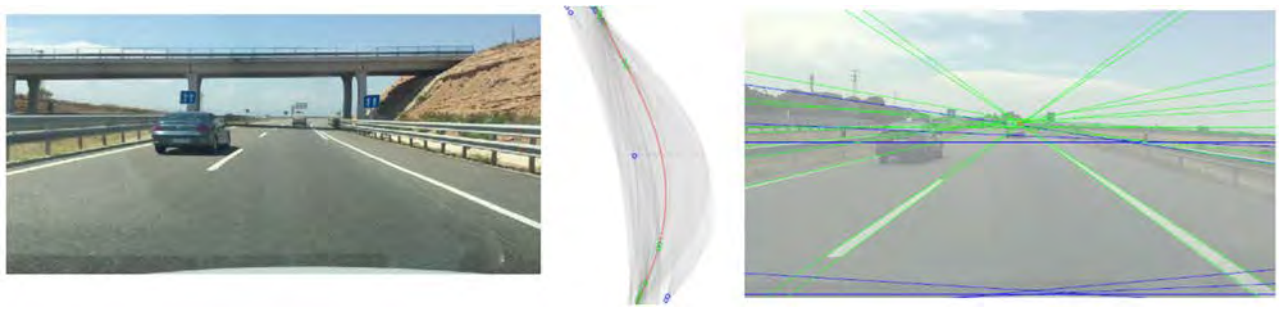


**Imagen 5.** *Registro de condiciones de la vía*

## 4.4. Smart Commissioning

Mediante la analítica de datos de la gestión remota centralizada del BMS de una instalación, se puede gestionar instalaciones de una forma más optimizada de cara al consumo energético y se audita de forma constante el funcionamiento de las mismas más allá de las alarmas propias del BMS.

Con la acción del commissioning continuado inteligente, mediante la lectura y análisis de las señales del sistema de control, se podrán transformar los test funcionales a reglas programadas, dando lugar a las siguientes ventajas:

- Detección automática de oportunidades de ahorro energético
- Aumento de vida de equipos
- Detección de anomalías y prevención de roturas

## 3. REFERENCIAS

IDAE: www.idae.es.

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

16:00 - 18:00

**SESIÓN 3 Track A. ENERGÍAS RENOVABLES y SERVICIOS ENERGÉTICOS**
Modera: Marc Masó. **AEE SPAIN CHAPTER**

"La eficiencia energética en los servicios" **Raúl Ramos Gamero.** Coordinador de Proyectos de Servicios Energéticos. **FERROVIAL SERVICIOS**

"Digitalización de la energía y su calidad" **Jacinto López Valero.** Gerente. **CYDESA**

"Desarrollo de una plataforma de cálculo predictivo-inteligente de la flexibilidad energética en tiempo real de plantas de tratamiento de agua" **Francisco David Gallego Martínez.** Director. **REGENERA**

"Energy performance measurement of an air-cooled chiller: on-field vs manufacturer data" **Rafael Pérez Cortines.** Senior Business Development Supervisor. **DAIKIN EUROPE N.V.**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# DIGITALIZACIÓN DE LA ENERGÍA

Jacinto López Valero

CYDESA Janitza

aee The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice


1 Presentación de las empresas Cydesa y Janitza

2 Medir, monitorizar y alarmar

3 Cantidad Vs Calidad en la energía

4 Normas de Calidad de Potencia

5 Referencias y casos de éxitos

6 Conclusiones

# LAS DOS UNIDADES DE NEGOCIO DE CYDESA

**Reactiva y armónicos**:
CYDESA es la empresa decana en España en la compensación de la energía reactiva y el filtrado de armónicos

**Medida y calidad de red**:
CYDESA es el distribuidor exclusivo del líder alemán en la fabricación de analizadores de red

¿te gusta conducir… A CIEGAS?

**II Congreso Internacional Ingeniería Energética**

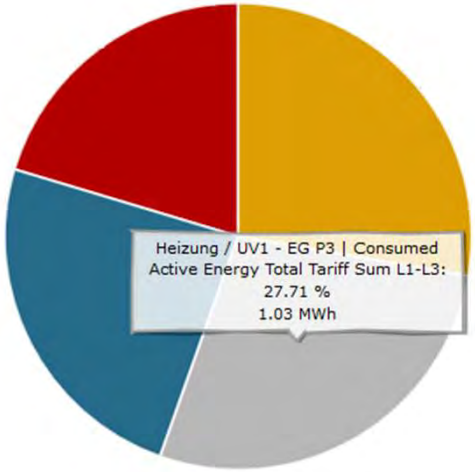
William Thomson, Barón Kelvin, conocido como "Lord Kelvin",
*26 de junio de 1824, † 17 de diciembre de 1907

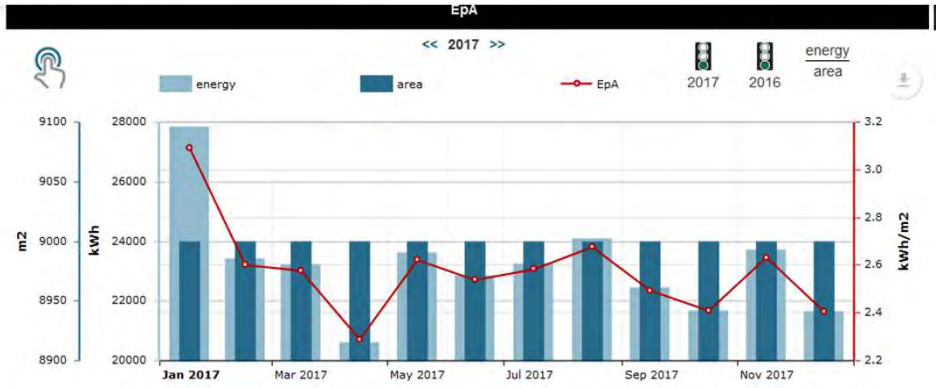
"LO QUE NO SE PUEDE MEDIR NO SE PUEDE MEJORAR"

# Medir (Datos).

La diferencia entre creer y saber, está en medir.

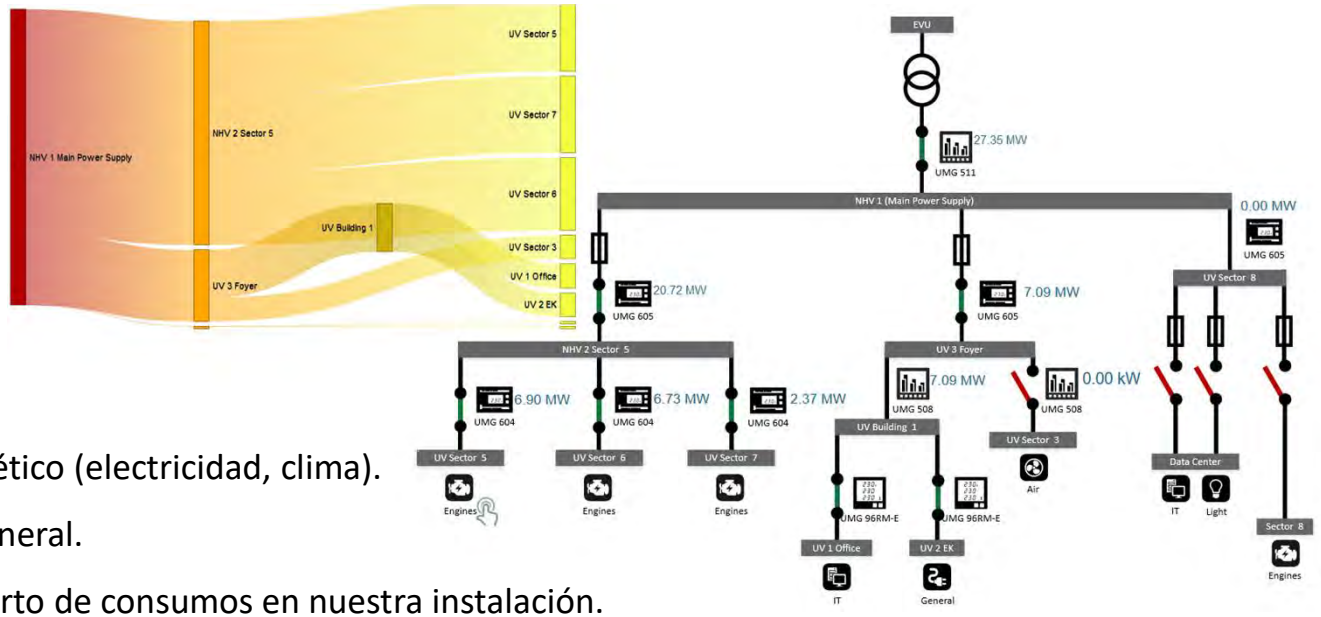
- De manera continua.
- Datos históricos, a nivel Hardware y Software.
- Generación de KPIs.
- Análisis de los datos medidos.



# Monitorizar (Información).

Un sistema de gestión energética te ayuda a:

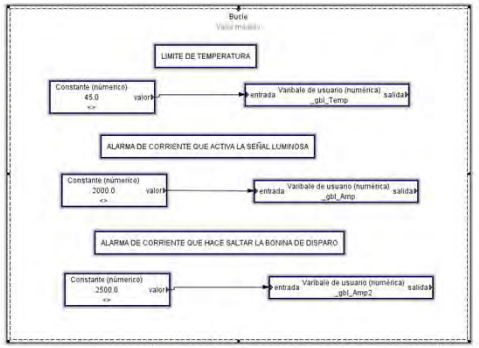



- Reducir el coste energético (electricidad, clima).
- Mejora la eficiencia general.
- Conocimiento del reparto de consumos en nuestra instalación.
- Transparencia: Cómo, Cuándo, Dónde se producen los consumos.
- Mejorar tu huella de carbono, reduciendo el consumo de CO2.

# Alarmar (Conocimiento).

Vigilancia continua 24/7.

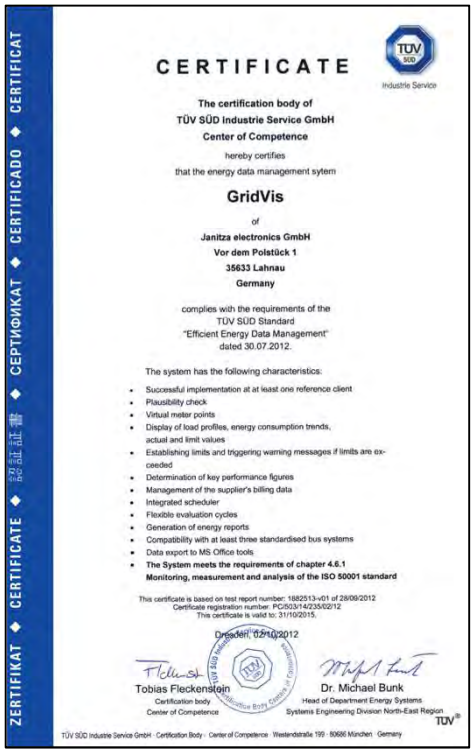
- Alarmas software y hardware: Adelantarse a los desvíos de consumo.
- Mini PLC integrado: Programación de algoritmos (Jasic).
- Sencillo e intuitivo.
- Multiprotocolo: Protocolo funcionando en paralelo.
- Fácil integración en DCIM, BMS o SCADA.



# ISO 50001

Janitza: Hardware para todos los niveles y software homologado.

- Transparencia en el consumo energético en cada uno de los niveles.
- Reducir continuamente el consumo energético y sus costes asociados.
- Monitorización continua de objetivos y su consecución, tomándose las medidas correctivas oportunas.



CERTIFICATE

The certification body of
TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Center of Competence
hereby certifies
that the energy data management sytem

**GridVis**

of
**Janitza electronics GmbH**
**Vor dem Polstück 1**
**35633 Lahnau**
**Germany**

complies with the requirements of the
TÜV SÜD Standard
"Efficient Energy Data Management"
dated 30.07.2012.

The system has the following characteristics:

- Successful implementation at at least one reference client
- Plausibility check
- Virtual meter points
- Display of load profiles, energy consumption trends, actual and limit values
- Establishing limits and triggering warning messages if limits are exceeded
- Determination of key performance figures
- Management of the supplier's billing data
- Integrated scheduler
- Flexible evaluation cycles
- Generation of energy reports
- Compatibility with at least three standardised bus systems
- Data export to MS Office tools
- **The System meets the requirements of chapter 4.6.1 Monitoring, measurement and analysis of the ISO 50001 standard**

This certificate is based on test report number: 1882513-v01 of 28/09/2012
Certificate registration number: PC/503/14/235/02/12
This certificate is valid to: 31/10/2015.

Dresden, 02/10/2012

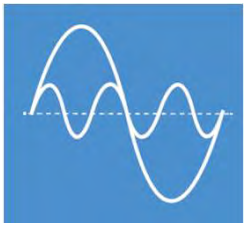
Tobias Fleckenstein
Certification body
Center of Competence

Dr. Michael Bunk
Head of Department Energy Systems
Systems Engineering Division North-East Region

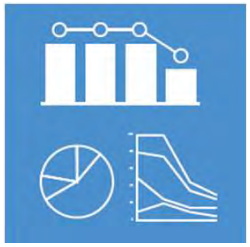
TÜV SÜD Industrie Service GmbH · Certification Body · Center of Competence · Westendstraße 199 · 80686 München · Germany

ZERTIFIKAT ◆ CERTIFICATE ◆ 認証書 ◆ СЕРТИФИКАТ ◆ CERTIFICADO ◆ CERTIFICAT

**Janitza: Herramienta Software y Hardware más completa.**



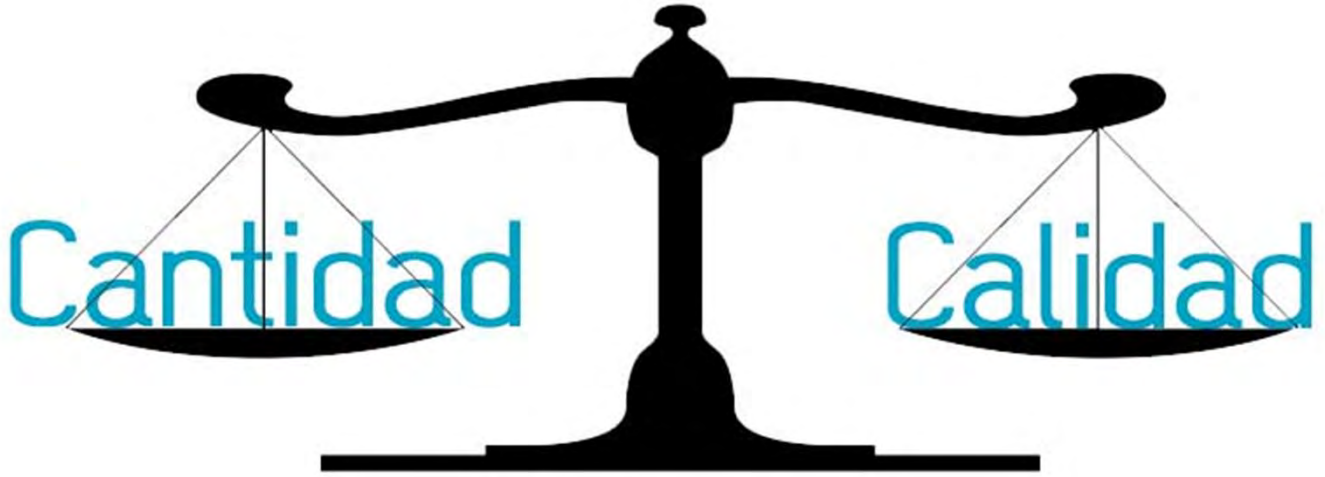
Datos



Información

Conocimiento

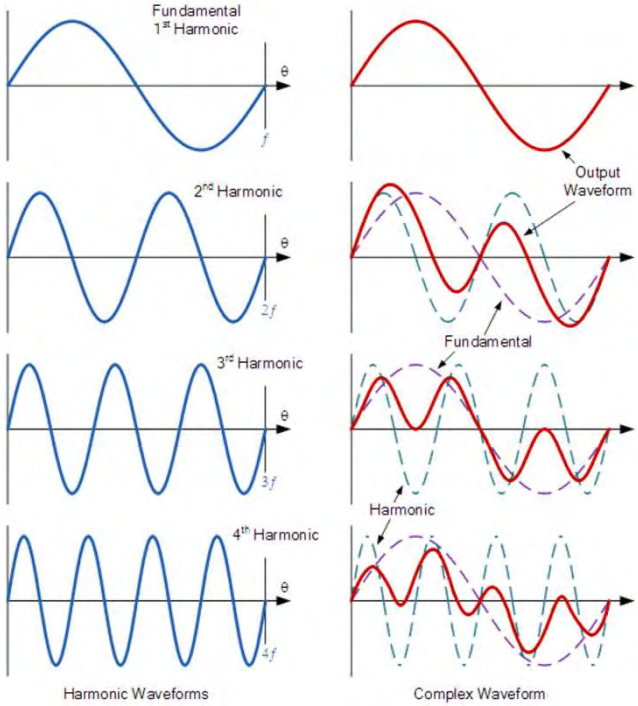
**Equilibro energético: medir la cantidad y la calidad de la energía.**



## 3 en 1: Sistema Janitza

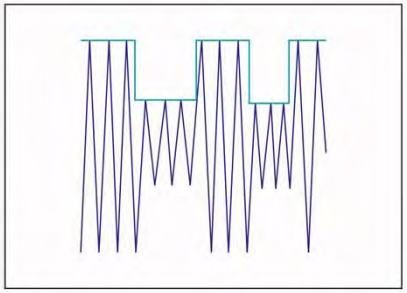
| | EnM | PQ | RCM |
|---|---|---|---|
| HARDWARE | ✓ | ✓ | ✓ |
| SOFTWARE | ✓ | ✓ | ✓ |

**Conocer las causas de los problemas en su instalación.**

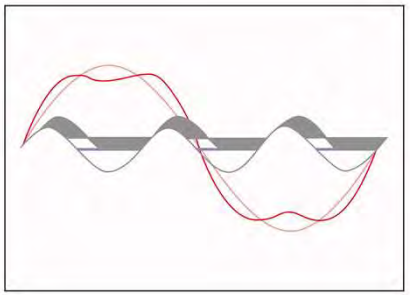


## Medir y monitorizar según las normas EN50160 e IEC 61000-2-4.

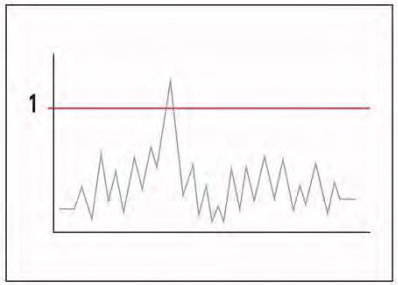
**Voltage fluctuations**



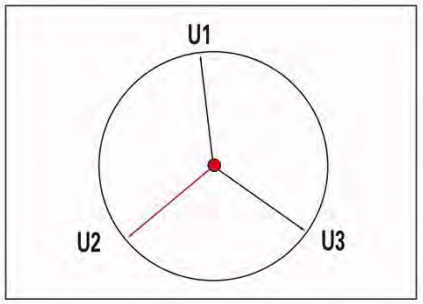
**Harmonics**



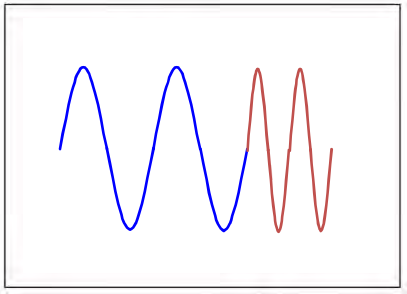
**Flicker**



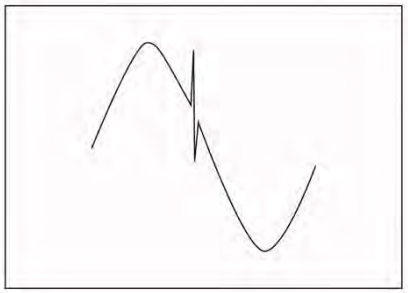

**Unbalance**




**Frequency fluctuations**

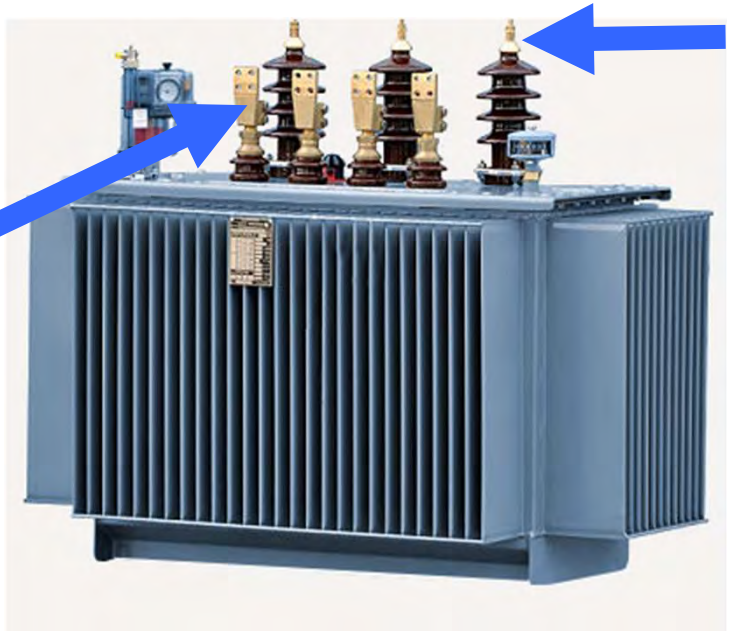


**Transients**



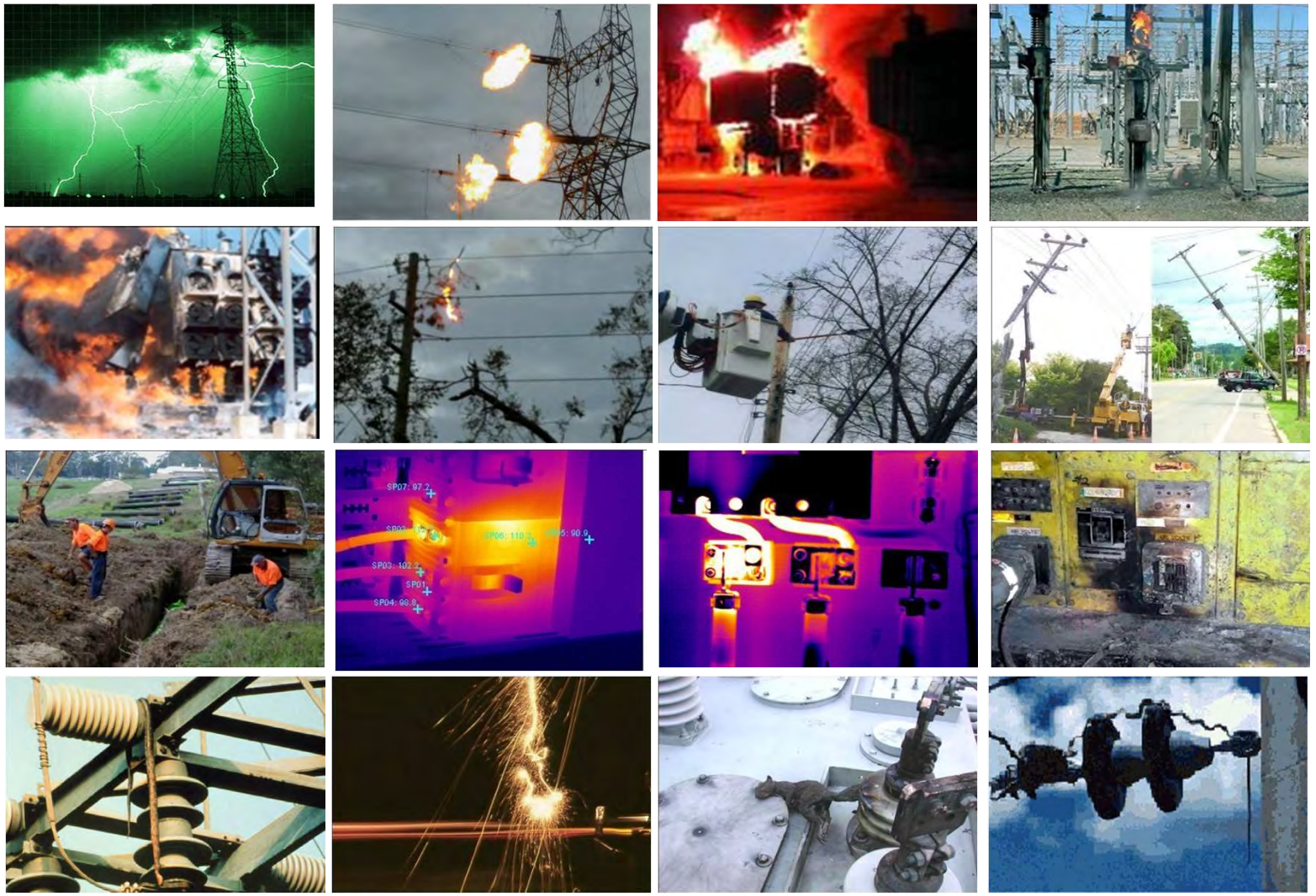
# PQ: CALIDAD DE SUMINISTRO: NORMAS

ALTA TENSIÓN
SUMINISTRO TENSIÓN
COMPAÑÍA
**EN 50160**



BAJA TENSIÓN
CONSUMO CORRIENTE
USUARIO
**IEC 61000-2-4**

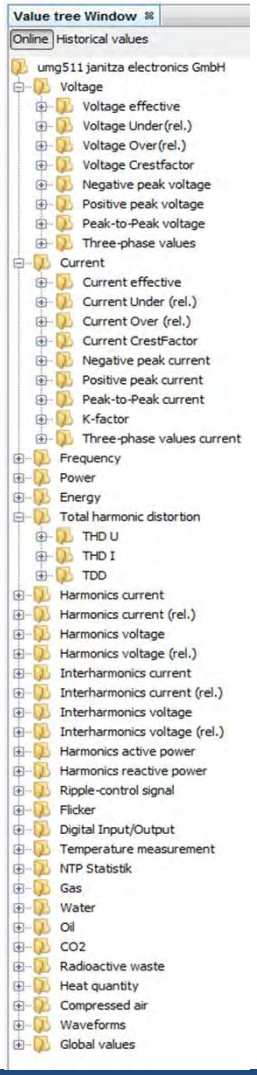
Probelmas de PQ RED: EN 50160



EN 50160: Características de la tensión suministrada por las redes públicas de distribución.

| Parámetro | Observaciones | Baja Tensión ≤1000V | Media Tensión >1kV≤36kV | Alta Tensión >36kV≤150kV |
|---|---|---|---|---|
| FENÓMENOS CONTINUOS | | | | |
| Frecuencia | Redes acopladas (1) | 50Hz ±1% (99,5%/año)<br>50Hz +4% -6% (100% del tiempo) | | |
| | Redes no acopladas (1) | 50Hz ± 2% (95%/semana)<br>50Hz ±15% (100% del tiempo) | | |
| Variaciones lentas de tensión | Normal | ±10% (+) | | Sin definir |
| | Zonas remotas (2) | +10% a -15% | | |
| Variaciones rápidas de tensión | | 5% (máx. 10%) | 4% (máx. 6%) | Sin definir |
| | Parpadeo (Fliker) | $P_{lt}$≤1(95% del tiempo) | | |
| Desequilibrios | | $U^-$≤2%$U^+$ (95%/semana) | | |
| Tensiones armónicas | Individuales<br>THDu | Tabla 1.2.1.5-1<br>≤8% | | Tabla 1.2.1.5-1<br>sin definir |
| Tensiones interarmónicas | Sin definir | | | |
| Transmisión de señales | Consultar la Norma | | | Sin especificar |
| EVENTOS (++) | | | | |
| Interrupciones | Breve duración (1s<t<3min) , U<10%<br>Larga duración (t>3min) , U=0% | | | |
| Huecos | 10%<U<90% (10ms<t<1min) (+++) | | | |
| Sobretensiones | U>110% (+++) | | | |

(+) En España esta tolerancia está reducida al ±7% para los consumidores finales (art. 104 del R.D.1955/2000).
(++) La edición de 2010 dela norma EN50160 recomienda confeccionar estadísticas a los países miembros.
(+++) En IEEE1159 se establece una duración de 10ms a 1min para las de corta duración o sags..




# Problemas de PQ USUARIO: IEC 61000-2-4

flicker
reactiva
desequilibrios
armónicos
transitorios
eventos

# IEC 61000-2-4: perturbaciones y los límites establecidos por la norma para 3 clases de niveles de compatibilidad.

| Perturbación | | Clase 1 | Clase 2 | Clase 3 |
|---|---|---|---|---|
| Variaciones de tensión | (%) | 8 | 10 | 10-15 |
| Huecos de tensión | (%) | 10-100 | 10-100 | 10-100 |
| duración en semiperiodos | | 1 | 1 a 300 | 1 a 300 |
| Interrupciones | (s) | - | - | ≤60 |
| Desequilibrio $U^-/U^+$ | (%) | 2 | 2 | 3 |
| Variación de frecuencia | (%) | 1 | 1 | 2 |

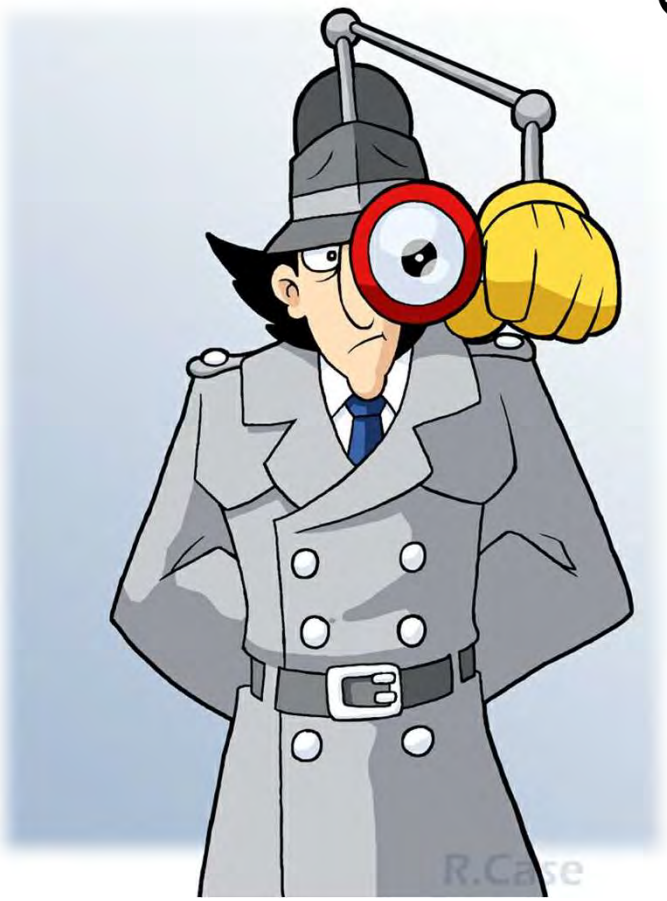
Tabla 1.3-1. Niveles de compatibilidad para las perturbaciones indicadas.

Clase 1: Entorno industrial para alimentación de equipos electrónicos sensibles.
Clase 2: Entorno industrial normal. Límites habituales para redes públicas.
Clase 3: Entorno industrial degradado. No apto para alimentación de equipos sensibles.

# IEC 61000-2-4: límites de armónicos establecidos por la norma para 3 clases de niveles de compatibilidad.

| Tensiones armónicas impares excepto múltiplos de 3, (%) | | Tensiones armónicas impares múltiplos de 3 (%) | | Tensiones armónicas pares (%) | |
|---|---|---|---|---|---|
| Orden | Clases 1/2/3 | Orden | Clases 1/2/3 | Orden | Clases 1/2/3 |
| 5 | 3/6/8 | 3 | 3/5/6 | 2 | 2/2/3 |
| 7 | 3/5/7 | 9 | 1,5/1,5/2,5 | 4 | 1/1/1,5 |
| 11 | 3/3,5/5 | 15 | 0,3/0,4/2 | 6 | 0,5/0,5/1 |
| 13 | 3/3/4,5 | 21 | 0,2/0,2/1,75 | 8 | 0,5/0,5/1 |
| 17 | 2/2/4 | 27..45 | 0,2/0,2/1 | 10 | 0,5/0,5/1 |
| 19..49 | (*) | | | >10 | 0,2/0,2/1 |
| Distorsión total $THD_u$: 5%, 8% y 10% para clases 1, 2 y 3 respectivamente<br>(*) $2{,}27\frac{17}{h} - 0{,}27$ para clase 1 y 2, $4{,}5\frac{17}{h} - 0{,}5$ para clase 3 | | | | | |

Tabla 1.3-2. Niveles de compatibilidad para tensiones armónicas establecidos por EN61000-2-4.



## Problemas debidos a la mala calidad de red.

Disparos de int. diferenciales aleatorios.

Disparo de int. magnetotérmicos no controlados.

Sobre calentamiento del cableado.

Entorno de trabajo no confortable.

Microcortes.

Paros no programados.

## Monitorización continua de la calidad de red.

Nivel de armónicos.

Correcto reparto de las fases.

Corrientes de fuga.

Transitorios.

Eventos: Sobretensión, sobreintensidades, sobrecorrientes.

Nivel de flickers.

Vigilancia 24/7

## Herramientas para detectar el estado de la red: Informes automáticos.

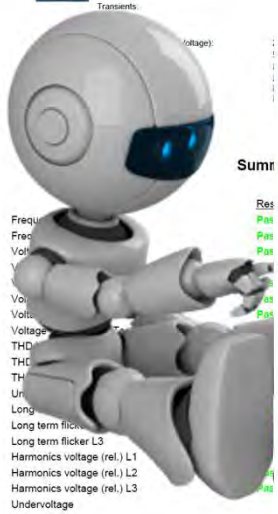
Powerquality-report a

**Customer**

| | |
|---|---|
| Name: | Janitza |
| Company: | Janitza electronics GmbH |
| Location: | Lahnau |

**Start date:**
**End date:**
**Date:**
**Software:**

**UMG511 Sascha**
Device type:
Flicker:
Events:
Transients:



Long term flicker L3
Harmonics voltage (rel.) L1
Harmonics voltage (rel.) L2
Harmonics voltage (rel.) L3
Undervoltage
Overvoltage

**Janitza**

## EN 50160

### Resumen

| | |
|---|---|
| Frecuencia +-1% | Passed |
| Frecuencia -6%/+4% | Passed |
| Tensión efectiva L1 - 1st Test | Passed |
| Tensión efectiva L1 - 2nd Test | Passed |
| Tensión efectiva L2 - 1st Test | Passed |
| Tensión efectiva L2 - 2nd Test | Passed |
| Tensión efectiva L3 - 1st Test | Passed |
| Tensión efectiva L3 - 2nd Test | Passed |
| THD U L1 | Passed |
| THD U L2 | Passed |
| THD U L3 | Passed |
| Desequilibrio de tensión | Passed |
| Flicker a largo plazo L1 | Passed |
| Flicker a largo plazo L2 | Passed |
| Flicker a largo plazo L3 | Passed |
| Armónicos de tensión (rel.) L1 | Passed |
| Armónicos de tensión (rel.) L2 | Passed |
| Armónicos de tensión (rel.) L3 | Passed |
| Subtensión | |
| Sobretensión | |

nsión

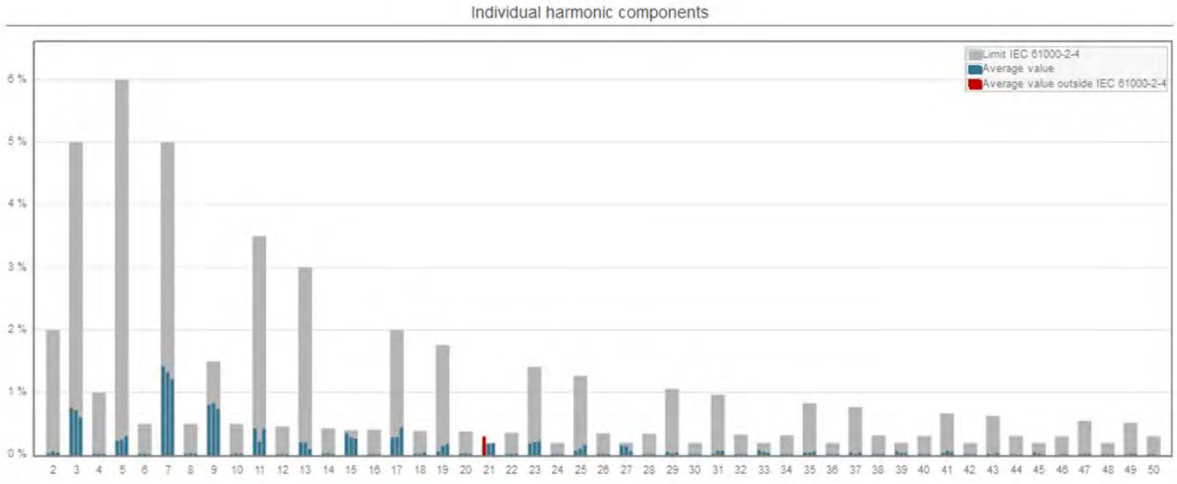
btensiones y

omalías en la

## Herramientas para detectar el estado de la red: APPs integradas en WebServer.

WatchDog IEC 61000-2-4

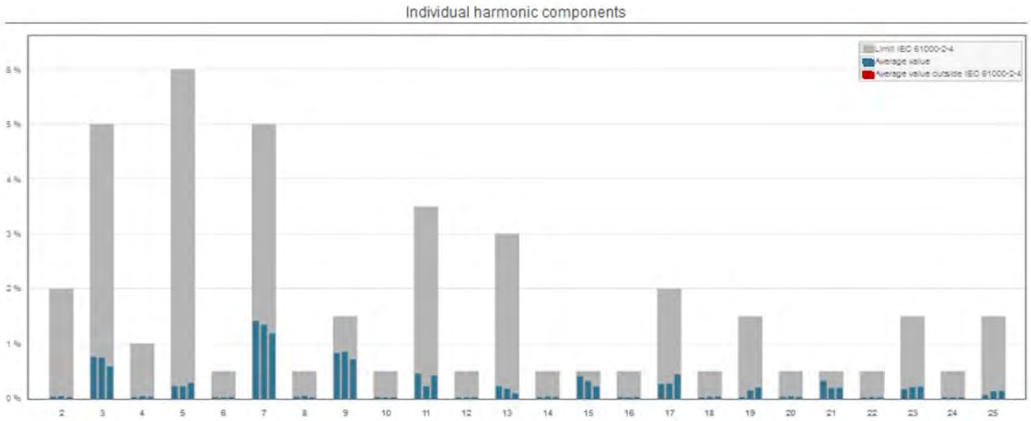
| IEC61000-2-4 Indication | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Description | Actual value | | Average value (last1 min.) | Lower limit avg. IEC 61000-2-4 | Upper limit avg. IEC 61000-2-4 |
| Device Name | UMG512 | Phase Voltage L1 | 229.91 V | 207.85 V | 254.03 V |
| Device time | 12:07 / 08.03.2018 | Phase Voltage L2 | 230.25 V | 207.85 V | 254.03 V |
| Nominal voltage | 400 V (L/L) | Phase Voltage L3 | 232.00 V | 207.85 V | 254.03 V |
| | | Line Voltage L1-L3 | 398.69 V | 360 V | 440 V |
| | | Line Voltage L2-L3 | 400.07 V | 360 V | 440 V |
| | | Line Voltage L3-L1 | 400.03 V | 360 V | 440 V |
| | | THD-U L1 | 1.98 % | | 8 % |
| | | THD-U L2 | 1.85 % | | 8 % |
| | | THD-U L3 | 1.72 % | | 8 % |
| | | Frequency | 50.01 Hz | 49 Hz | 51 Hz |
| | | Asymetric | 0.22 % | | 2 % |



**Herramientas para detectar el estado de la red: APPs integradas en WebServer.**

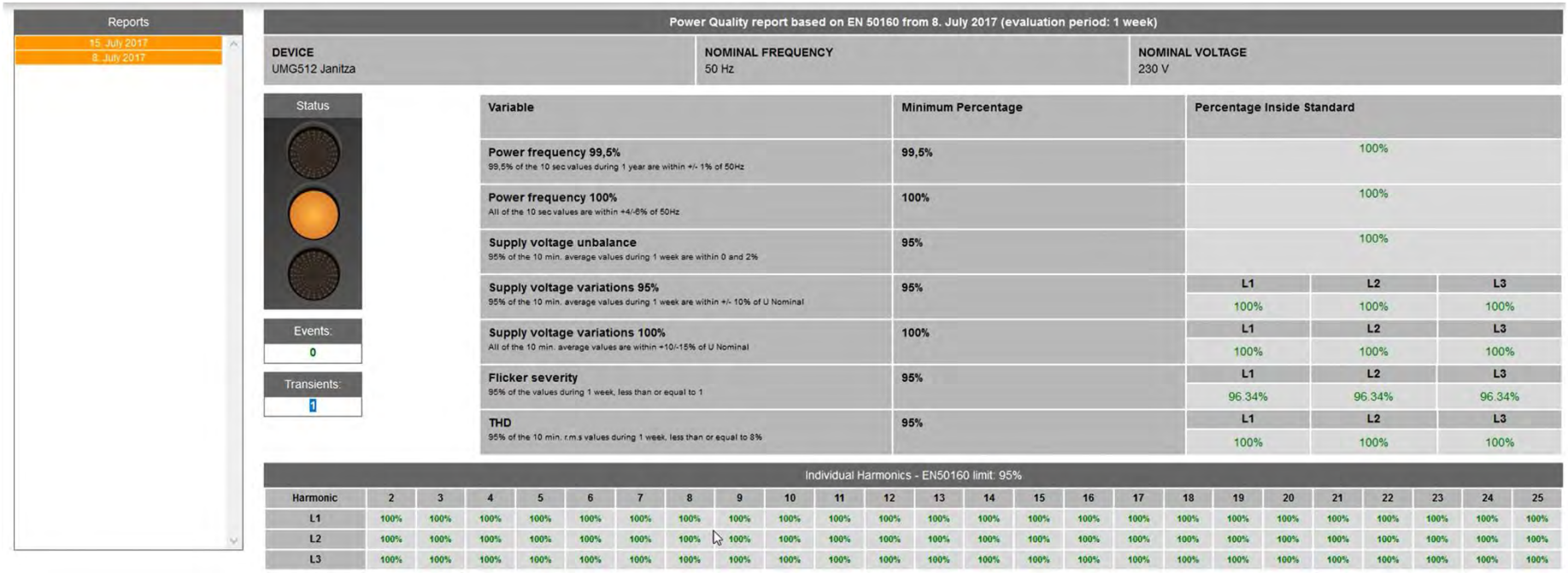
WatchDog EN 50160

| EN50160 Indication | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Description | Actual value | | Average value (last1 min.) | Lower limit avg. IEC 61000-2-4 | Upper limit avg. IEC 61000-2-4 |
| Device Name | UMG512 | Phase Voltage L1 | 230.40 V | 207.85 V | 254.03 V |
| Device time | 12:08 / 08.03.2018 | Phase Voltage L2 | 230.55 V | 207.85 V | 254.03 V |
| Nominal voltage | 400 V (L/L) | Phase Voltage L3 | 231.75 V | 207.85 V | 254.03 V |
| | | Line Voltage L1-L3 | 399.32 V | 360 V | 440 V |
| | | Line Voltage L2-L3 | 400.28 V | 360 V | 440 V |
| | | Line Voltage L3-L1 | 400.11 V | 360 V | 440 V |
| | | THD-U L1 | 1.98 % | | 8 % |
| | | THD-U L2 | 1.86 % | | 8 % |
| | | THD-U L3 | 1.73 % | | 8 % |
| | | Frequency | 50.00 Hz | 49.5 Hz | 50.5 Hz |
| | | Asymetric | 0.14 % | | 2 % |
| | | Long term flicker L1 | 0.30 | | 1 |
| | | Long term flicker L2 | 0.30 | | 1 |
| | | Long term flicker L3 | 0.30 | | 1 |



## Herramientas para detectar el estado de la red: APPs integradas en WebServer.

Informes periódicos de calidad de red en el Web del analizador.



Reports

15. July 2017

8. July 2017

**Power Quality report based on EN 50160 from 8. July 2017 (evaluation period: 1 week)**

| DEVICE | NOMINAL FREQUENCY | NOMINAL VOLTAGE |
|---|---|---|
| UMG512 Janitza | 50 Hz | 230 V |

Status

Events: 0

Transients: 1

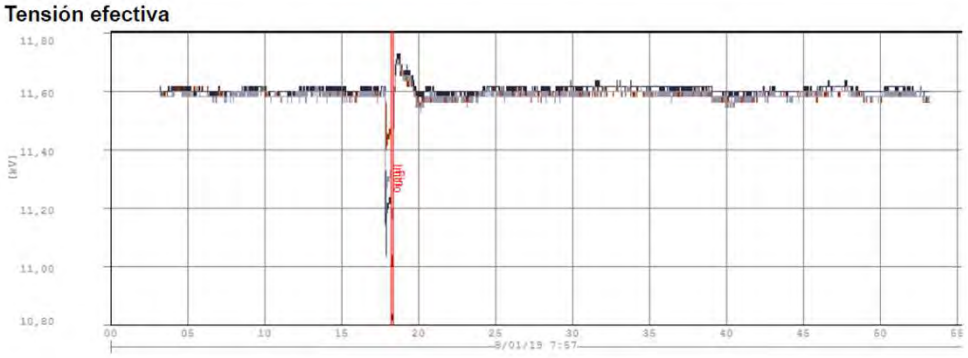
| Variable | Minimum Percentage | Percentage Inside Standard | | |
|---|---|---|---|---|
| **Power frequency 99,5%**<br>99,5% of the 10 sec values during 1 year are within +/- 1% of 50Hz | 99,5% | 100% | | |
| **Power frequency 100%**<br>All of the 10 sec values are within +4/-6% of 50Hz | 100% | 100% | | |
| **Supply voltage unbalance**<br>95% of the 10 min. average values during 1 week are within 0 and 2% | 95% | 100% | | |
| **Supply voltage variations 95%**<br>95% of the 10 min. average values during 1 week are within +/- 10% of U Nominal | 95% | L1<br>100% | L2<br>100% | L3<br>100% |
| **Supply voltage variations 100%**<br>All of the 10 min. average values are within +10/-15% of U Nominal | 100% | L1<br>100% | L2<br>100% | L3<br>100% |
| **Flicker severity**<br>95% of the values during 1 week, less than or equal to 1 | 95% | L1<br>96.34% | L2<br>96.34% | L3<br>96.34% |
| **THD**<br>95% of the 10 min. r.m.s values during 1 week, less than or equal to 8% | 95% | L1<br>100% | L2<br>100% | L3<br>100% |

Individual Harmonics - EN50160 limit: 95%

| Harmonic | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| L1 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| L2 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| L3 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

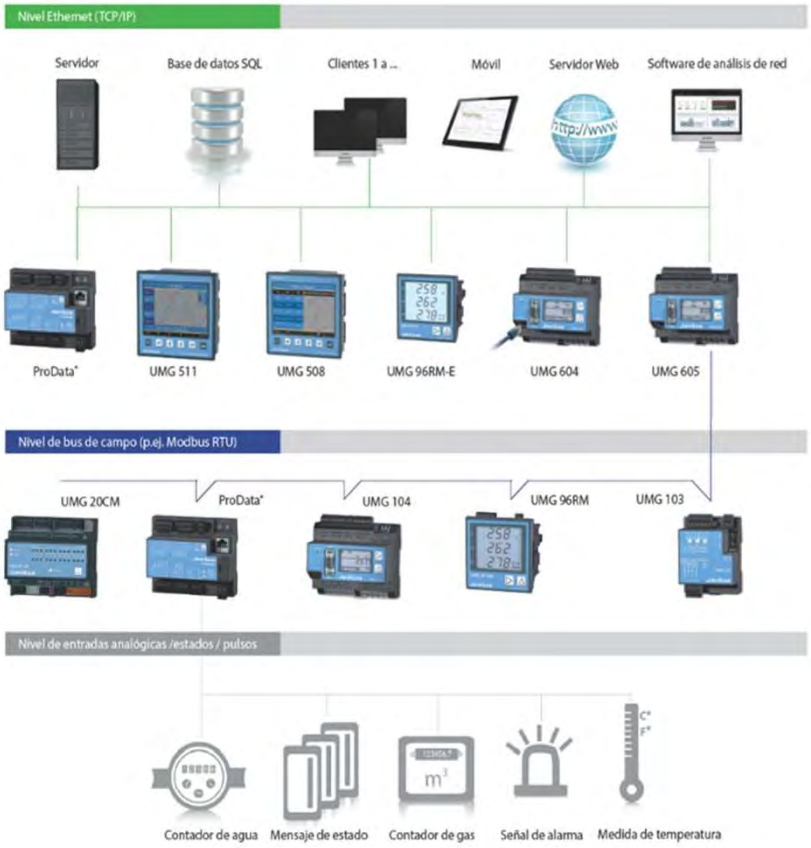
**SEAT Martorell: Monitoirzación de calidad de red con sistemas Janitza**

UMG 512 –PRO:



## CEPSA Investigación MADRID: Monitorización de energía con sistemas Janitza

Sistemas multiprotocolo en diferentes niveles.



## Referencias a nivel nacional

## Referencias Internacionales

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

CYDESA Janitza

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# DIGITALIZACIÓN DE LA ENERGÍA Y SU CALIDAD
# Energy Management and Power Qualty Solutions.

**J.López Valero y B. Piquer Peris**

**Resumen:** Presentamos las soluciones y casos de éxito en la monitorización energética y de la calidad de red. Lo que no se mide no se puede mejorar, en el campo de la energía y de la gestión energética mucha veces sólo habla de la cantidad pero no de la calidad, presentamos las normas claves de Power Quality o Calidad de potencia.

**Palabras clave:** Gestión energética, monitorización, Calidad de Potencia, Power Quality.

## 1. TEXTO PRINCIPAL

CYDESA-JANITZA quiere presentar su solución "5 en 1" para la gestión energética y medida de calidad de la red eléctrica, lo que encaja perfectamente en la temática "Eficiencia Energética". El hardware y software de Janitza está diseñado para poder cumplir la ISO 50001 en el campo de la eficiencia energética. Además, los dispositivos con certificación Clase A están preparados para emitir informes tanto de calidad de suministro según la norma EN50160, como de una auditoría propia sobre la calidad eléctrica de acuerdo con la norma IEC 61000-2-4. Otro de los aspectos destacables de la solución que queremos presentar es que además es posible monitorizar las corrientes residuales en los propios dispositivos, lo que mejora la seguridad de las instalaciones y controla las pérdidas producidas por las corrientes de fuga.

Por otro lado, en la parte de comunicaciones y software el sistema puede destacarse tanto en la temática de "Eficiencia energética" como en la "Industria 4.0", ya que el sistema es multiprotocolo, lo que permite la integración en cualquier sistema de monitorización existente. También cabe destacar la integración de lógica programable, que permite a los dispositivos poder trabajar de forma autónoma pudiendo gestionar alarmas o acciones concretas. Además, también hablaremos de que gracias a su web server integrado que permite la instalación de APPs de vigilancia y gestión es posible tener acceso a todos los datos que genera el analizador simplemente accediendo al dispositivo a través de su dirección IP.

iENER'19
II Congreso Internacional
de Ingeniería Energética

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

16:00 - 18:00

**SESIÓN 3 Track A. ENERGÍAS RENOVABLES y SERVICIOS ENERGÉTICOS**
Modera: Marc Masó. **AEE SPAIN CHAPTER**

"La eficiencia energética en los servicios" **Raúl Ramos Gamero.** Coordinador de Proyectos de Servicios Energéticos. **FERROVIAL SERVICIOS**

"Digitalización de la energía y su calidad" **Jacinto López Valero.** Gerente. **CYDESA**

"Desarrollo de una plataforma de cálculo predictivo-inteligente de la flexibilidad energética en tiempo real de plantas de tratamiento de agua" **Francisco David Gallego Martínez.** Director. **REGENERA**

"Energy performance measurement of an air-cooled chiller: on-field vs manufacturer data" **Rafael Pérez Cortines.** Senior Business Development Supervisor. **DAIKIN EUROPE N.V.**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# Desarrollo de una plataforma de cálculo predictivo-inteligente de la flexibilidad energética en tiempo real de plantas de tratamiento de agua

*D. Francisco David Gallego Martínez*

REGENERA energia&medioambiente

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice


1 Nosotros

2 Objetivos de AguaFlex

3 Fases del proyecto
- Identificación y análisis de potenciales de flexibilidad
- Modelo energético de la planta
- Simulación de la flexibilidad de la planta
- Análisis de los resultados

4 Modelos de negocio

5 Perspectivas de AguaFlex

# 1. Nosotros

REGENERA
energía&medioambiente

The Association of Energy Engineers
Spain Chapter

# Nosotros

- Fundada 2007 en Murcia, España
- ESE (Empresa de Servicios Energéticos)

- Prestamos **servicios de consultoría energética**, gestión energética, construcción industrial, obras hidráulicas, etc.
- Proporcionamos soluciones integrales para aumentar la **eficiencia energética**, aprovechar los **recursos renovables**, reducir el impacto en el **medio ambiente** y aumentar la competitividad de nuestros clientes.

# Nosotros

- REGENERA ha sido premiada como **PYME INNOVADORA** por parte del Ministerio de Economía español por su **esfuerzo en actividades de Investigación e Innovación** en el marco de los programas H2020, LIFE y otros programas nacionales.

PYME INNOVADORA

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE ECONOMÍA, INDUSTRIA Y COMPETITIVIDAD

European Commission

HORIZON 2020

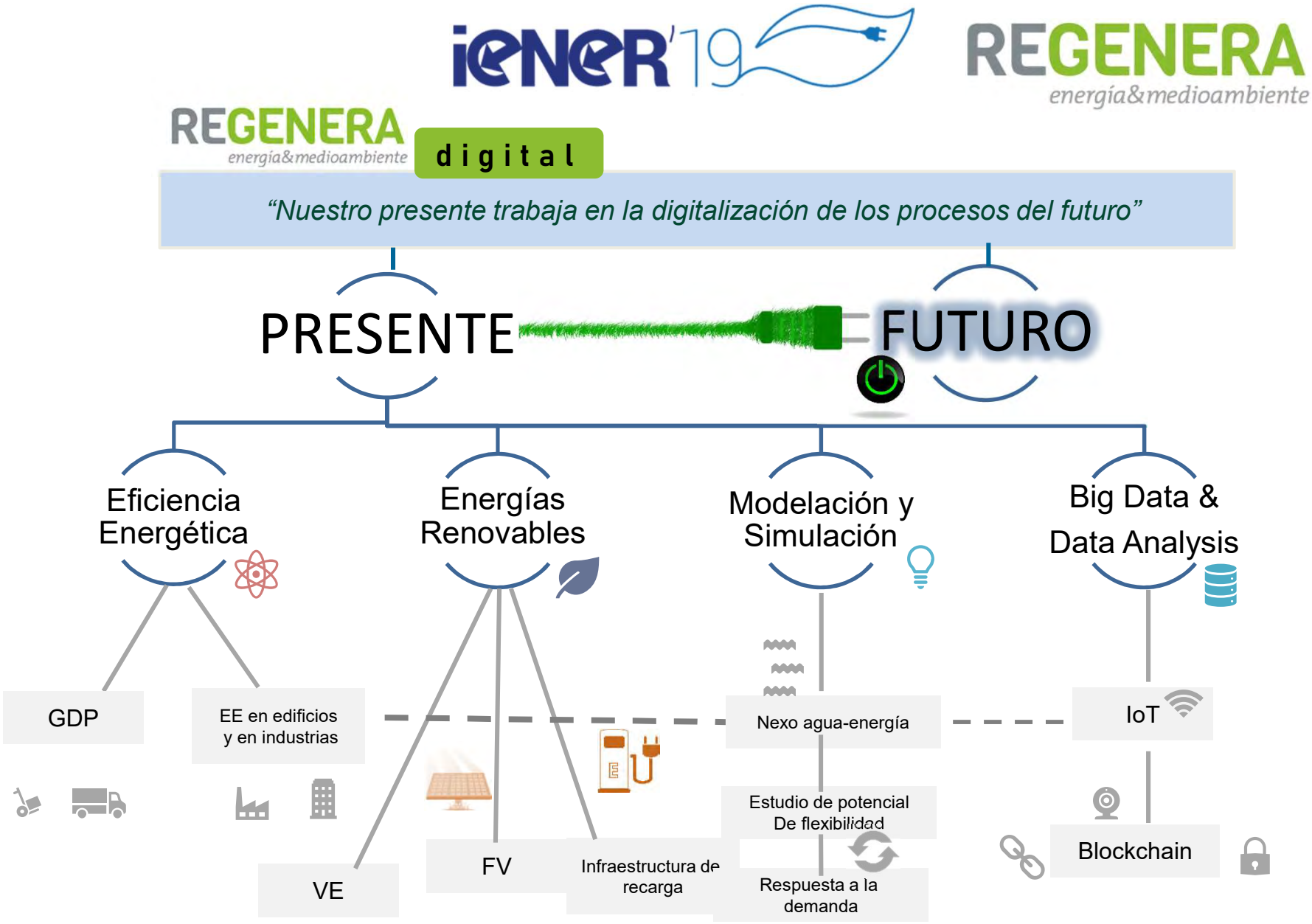
GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD

FEDER - INNTERCONECTA

Life

# Nosotros

- REGENERA es una empresa certificada en:
  - Gestión de **calidad** (ISO 9001)
  - Gestión **medioambiental** (ISO 14001)
  - Gestión de la **energía** (ISO 50001)
  - Evaluación de la **seguridad** y **salud** en el trabajo (OHSAS 18001)
- REGENERA es **auditora** certificada por el Ente Nacional de Acreditación (ENAC).
- REGENERA es Certified Measurement & Verification Professional (CMVP) en el **protocolo EVO**.
- REGENERA es **Agente del Mercado Energético** para participar en el mercado eléctrico español (OMIE).
- REGENERA está certificada por wallbox como socia oficial de instalación y servicios



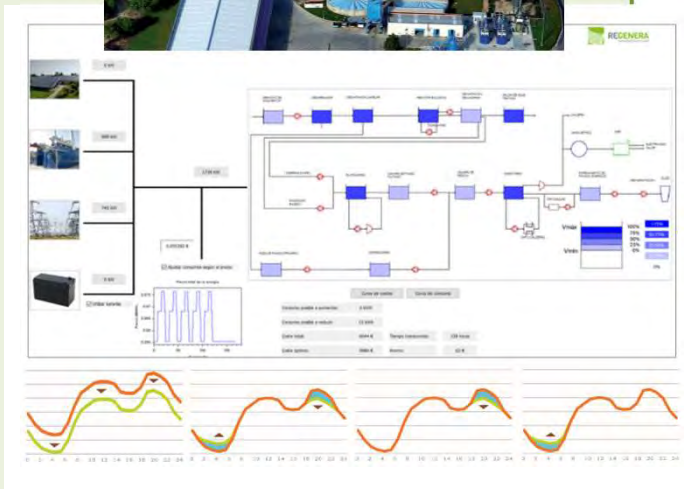

## II Congreso Internacional Ingeniería Energética

# El proyecto AguaFlex

El objetivo del proyecto es la identificación de potenciales de flexibilidad en plantas de tratamiento de aguas residuales y plantas de tratamiento de agua

**Nuestro servicio incluye**

1. Evaluación de la **flexibilidad energética** en las plantas de tratamiento de agua
2. Propuesta de **estrategias** de flexibilidad
3. Utilización de **modelización** y **simulación**
4. Estudio de escenarios para incrementar la flexibilidad energética
5. **Evaluación económica** de las soluciones propuestas
6. Análisis de sensibilidad de parámetros que influyen en la flexibilidad



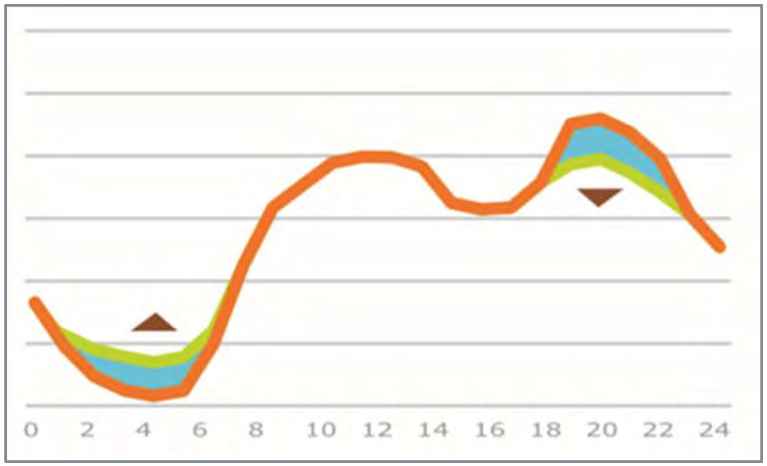
# 2. Objetivos de AguaFlex

REGENERA
energía&medioambiente

The Association of Energy Engineers
Spain Chapter

# Objetivo de AguaFlex

- **Objetivo** – Estudio de la capacidad de respuesta a la demanda y flexibilidad energética en las principales plantas de tratamiento de agua potable y residual mediante modelado y simulación.
- **¿Cómo se puede obtener un ahorro económico?**




1º Desplazando consumos de periodos con mayor precio del kWh a otros con menor precio

(Demand Side Management).

2º Ofreciendo flexibilidad a la red y obteniendo un beneficio económico por ello (Demand Response).

# 3. Fases del proyecto

REGENERA
energía&medioambiente

The Association of Energy Engineers
Spain Chapter

# Identificación y análisis de potenciales de flexibilidad

REGENERA
energía&medioambiente

The Association of Energy Engineers
Spain Chapter

www.aeespain.org

# Identificación y análisis de potenciales de flexibilidad

- **Consumidores “flexibles”**

Bombas de impulsión de agua y fango.

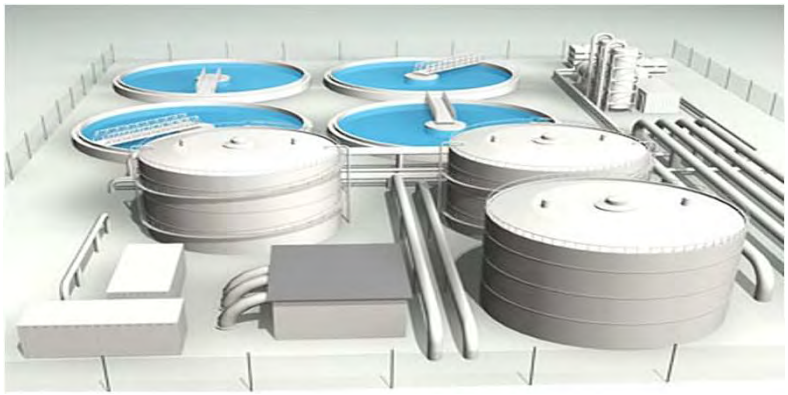
Bombas centrífugas (sumadas a las bombas de impulsión).

Motores de cogeneración.

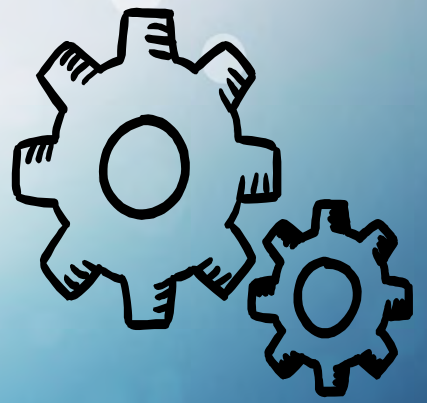
- **Elementos que aportan flexibilidad**

Tanques de agua o fango (depósitos, cántaras, cámaras, etc.).

Gasómetros.



# Modelado energético de la planta

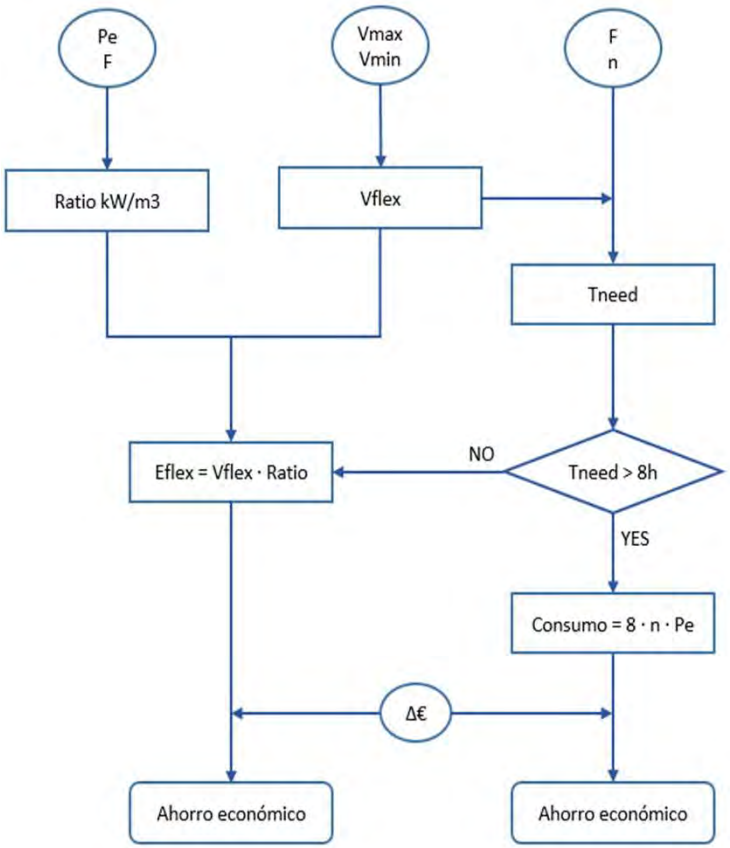


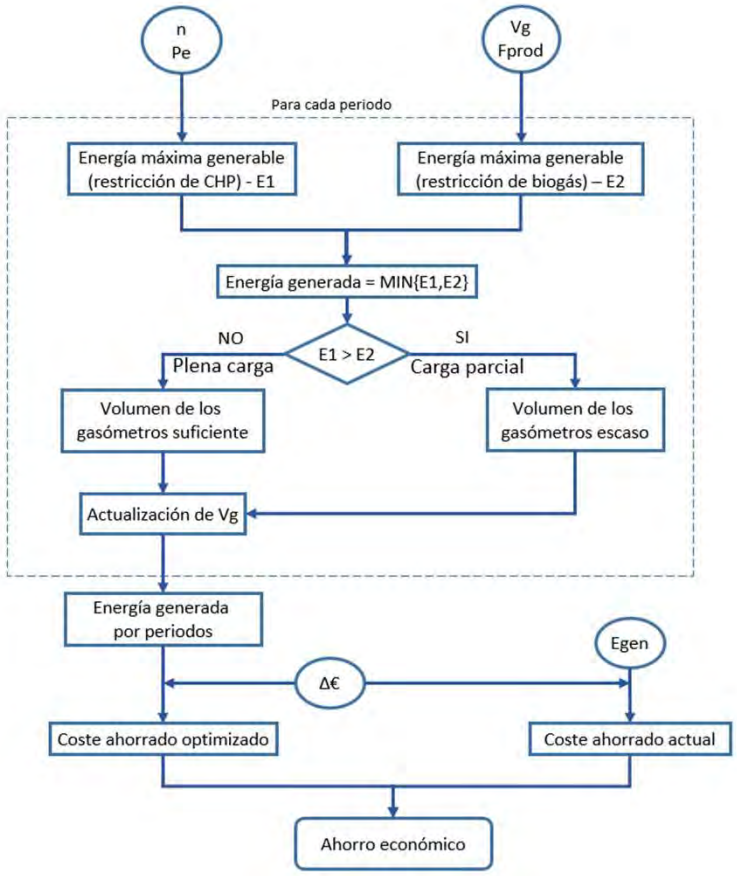
REGENERA
energía&medioambiente

The Association of Energy Engineers
Spain Chapter

www.aeespain.org

# Modelado energético de la plantac



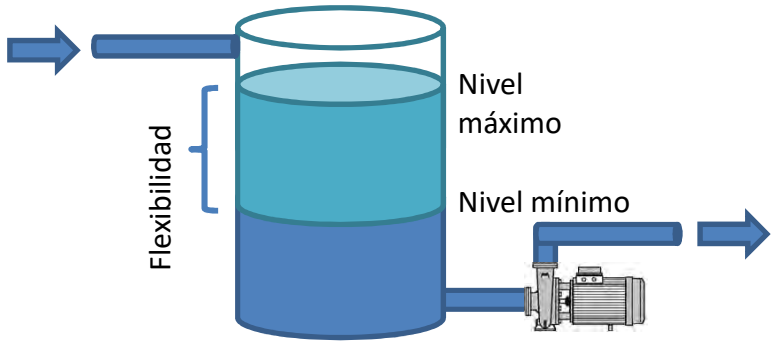



# Modelado energético de la plantac

- Modelo energético
- Algoritmo de cálculo
- Cálculo del potencial de flexibilidad.

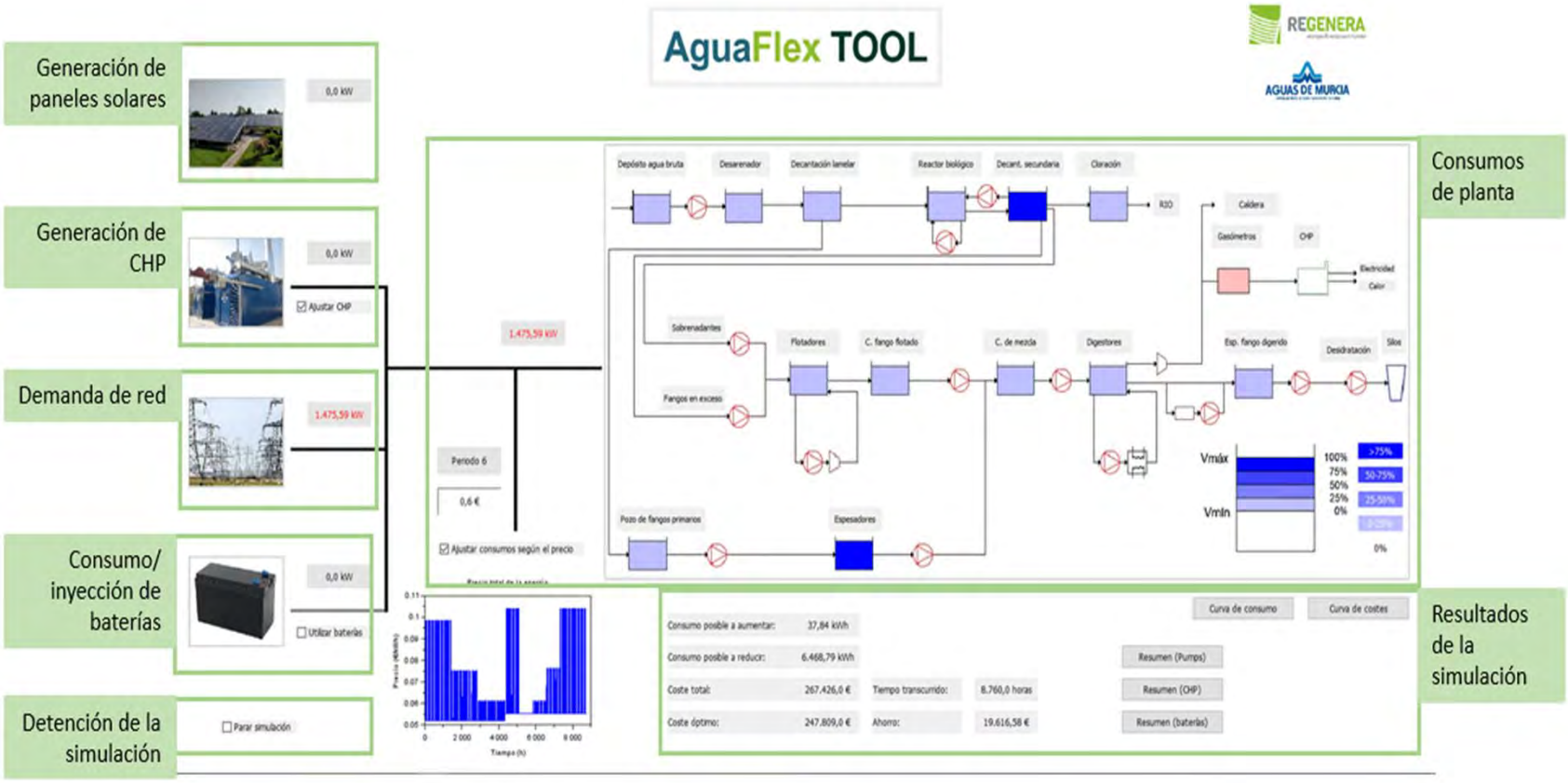
| | Ahorro máximo variando el consumo (€) | Coste de la energía eléctrica (€) | Porcentaje de ahorro |
|---|---|---|---|
| EDAR Murcia Este | 16.848 | 267.426 | 6,30% |
| EDAR Hacienda Riquelme | 2.968[1] | 10.880 | 27,28% |
| EDAR El Raal | 11.365 | 74.477 | 15,25% |
| ETAP Contraparada | 15.031 | 134.136 | 11,20% |

Mayor potencial de ahorro



# Modelado energético de la planta

## Interfaz gráfica



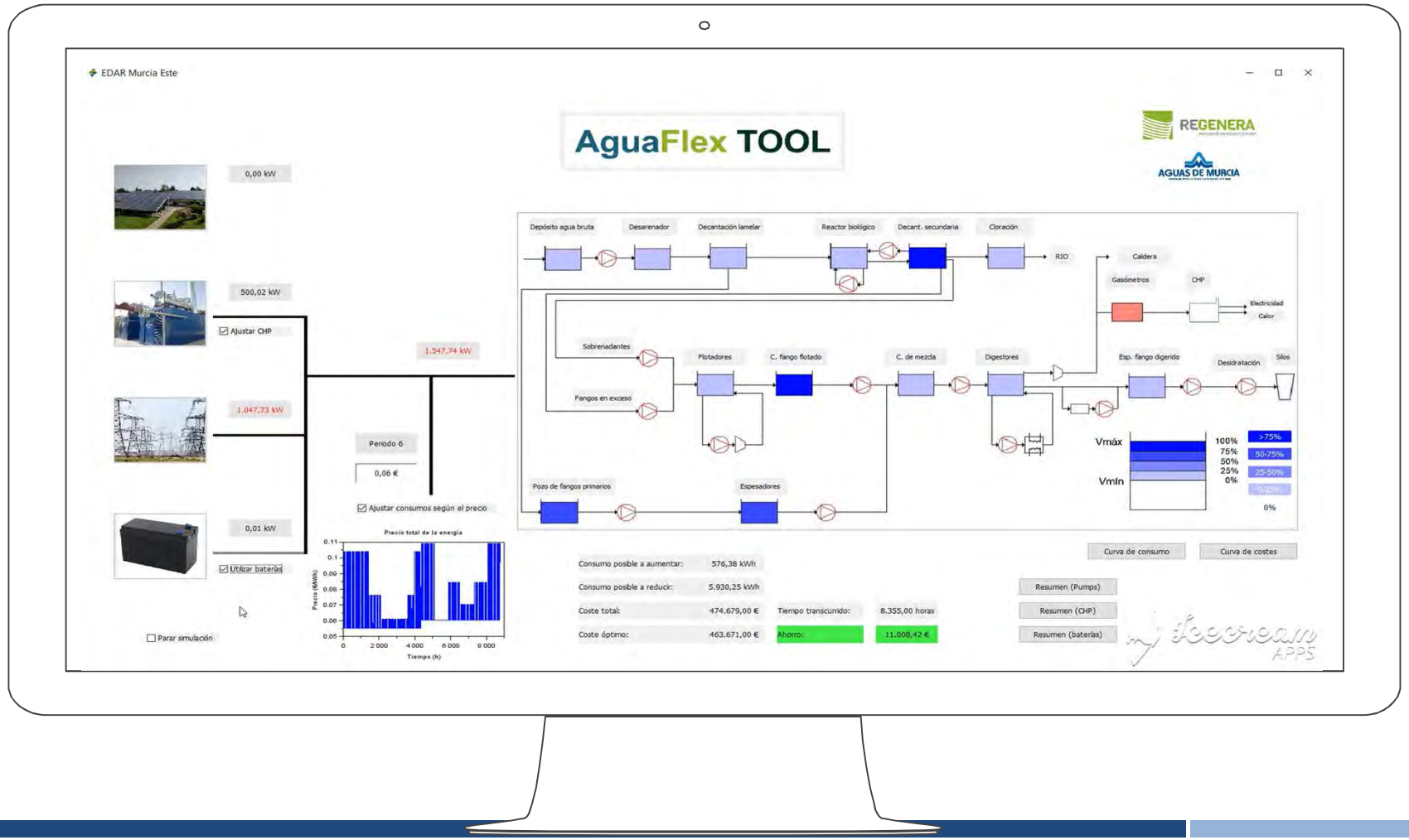
# Simulación de la flexibilidad de la planta

REGENERA
energía&medioambiente

The Association of Energy Engineers
Spain Chapter

www.aeespain.org

# Simulación


EDAR Murcia Este
AguaFlex TOOL
REGENERA
AGUAS DE MURCIA
0,00 kW
500,02 kW
Ajustar CHP
1.047,73 kW
0,01 kW
Utilizar baterías
Parar simulación
1.547,74 kW
Periodo 6
0,06 €
Ajustar consumos según el precio
Precio total de la energía
Precio (€/kWh)
Tiempo (h)
Depósito agua bruta
Desarenador
Decantación lamelar
Reactor biológico
Decant. secundaria
Cloración
RIO
Caldera
Gasómetros
CHP
Electricidad
Calor
Sobrenadantes
Fangos en exceso
Flotadores
C. fango flotado
C. de mezcla
Digestores
Esp. fango digerido
Desidratación
Silos
Pozo de fangos primarios
Espesadores
Vmáx
Vmín
100%
75%
50%
25%
0%
>75%
50-75%
25-50%
0-25%
Consumo posible a aumentar: 576,38 kWh
Consumo posible a reducir: 5.930,25 kWh
Coste total: 474.679,00 €
Coste óptimo: 463.671,00 €
Tiempo transcurrido: 8.355,00 horas
Ahorro: 11.008,42 €
Curva de consumo
Curva de costes
Resumen (Pumps)
Resumen (CHP)
Resumen (baterías)

# Simulación

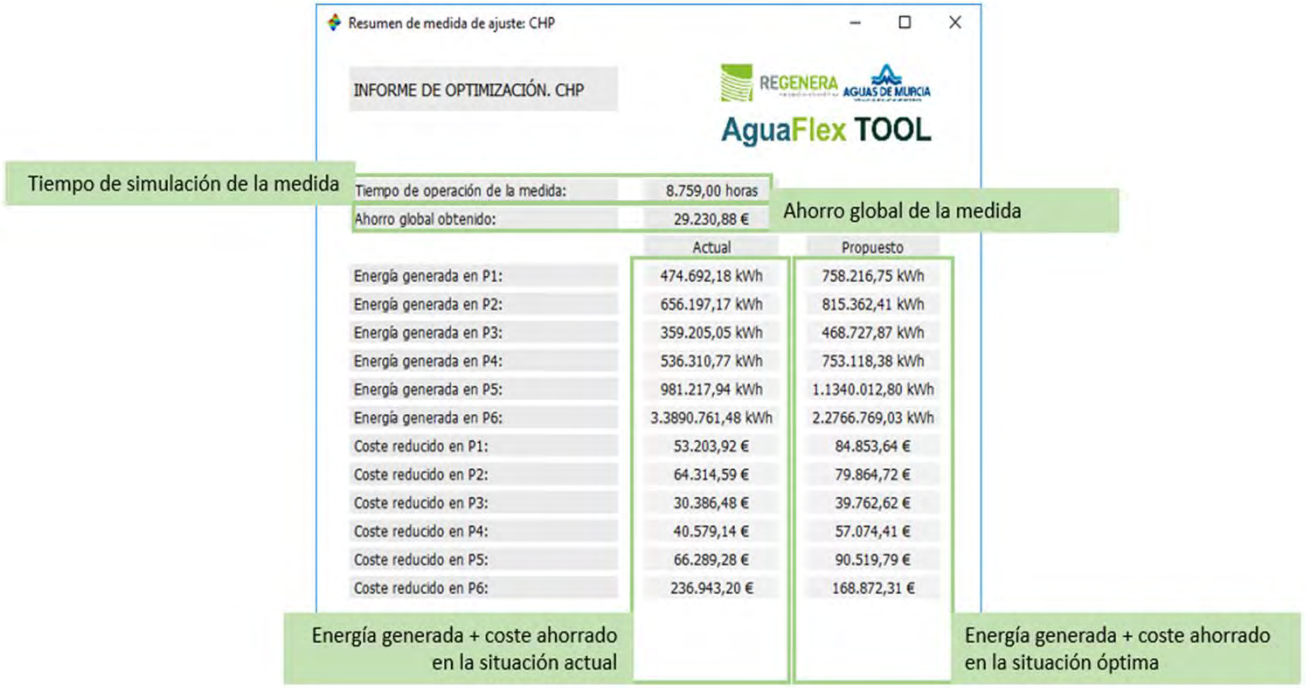
## Informe de optimización. Bombas

Resumen del ahorro económico obtenido mediante la variación del consumo según el coste de la electricidad desglosado por grupos de consumo

# Simulación

## Informe de optimización. CHP

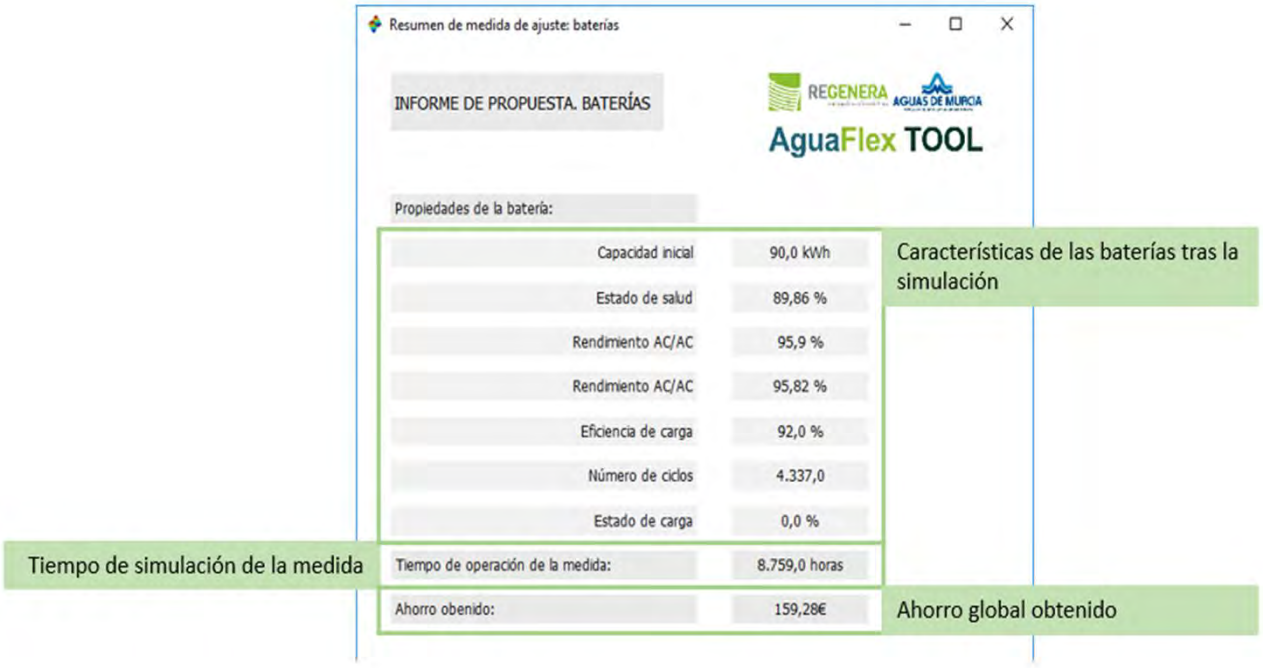
Resumen del ahorro económico obtenido mediante la variación de la generación eléctrica



# Simulación

## Informe de optimización. Baterías

Resumen del ahorro económico obtenido mediante el uso de baterías eléctricas (sin considerar inversión)



# Análisis de resultados

REGENERA
energía&medioambiente

The Association of Energy Engineers
Spain Chapter

# Resultados

## Variación del consumo/generación (según el precio de la electricidad)

| Planta | Ahorro global (€) | Ahorros con medidas de ajuste (€) | | Coste de la energía eléctrica (€) | Porcentaje de ahorro |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Bombas | CHP | | |
| EDAR Murcia Este | 26.680 (39.969[1]) | 2.786 | 12.245 | 494.663 | 5,39% (8,08%) |
| EDAR Hacienda Riquelme | 1.172[2] | 172 | - | 10.880 | 10,58% |
| EDAR El Raal | - | - | - | 74.477 | 0,03% |
| ETAP Contraparada | 240 | 240 | - | 134.136 | 0,18% |

[1] Ahorro obtenido considerando el cambio a una tarifa de precios indexados al *pool* eléctrico.
[2] Considerando EBAR.

# Resultados

## Simulación de la instalación de baterías eléctricas

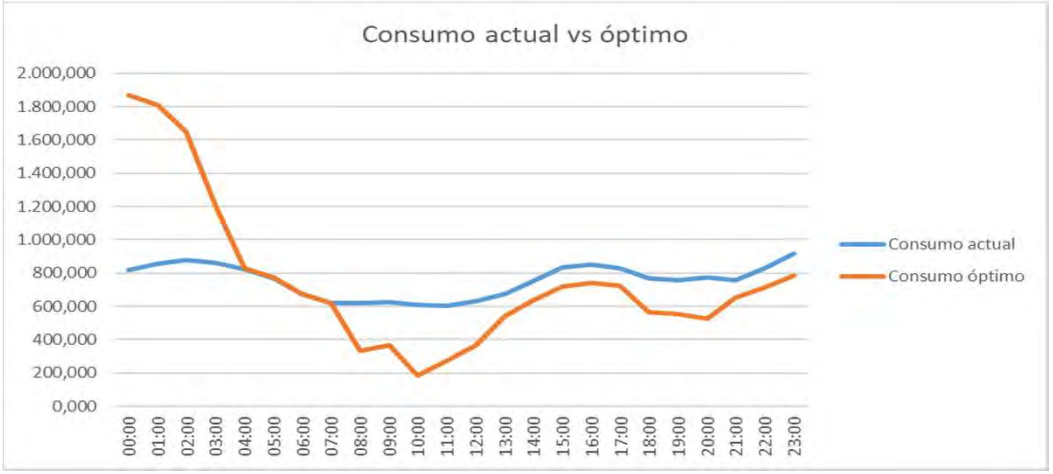
| | Ahorro anual por baterías (€) |
|---|---|
| EDAR Murcia Este | 418 |
| EDAR Hacienda Riquelme | - |
| EDAR El Raal | 343 |
| ETAP Contraparada | 345 |

- Poco ahorro obtenible.
- Inversión elevada.

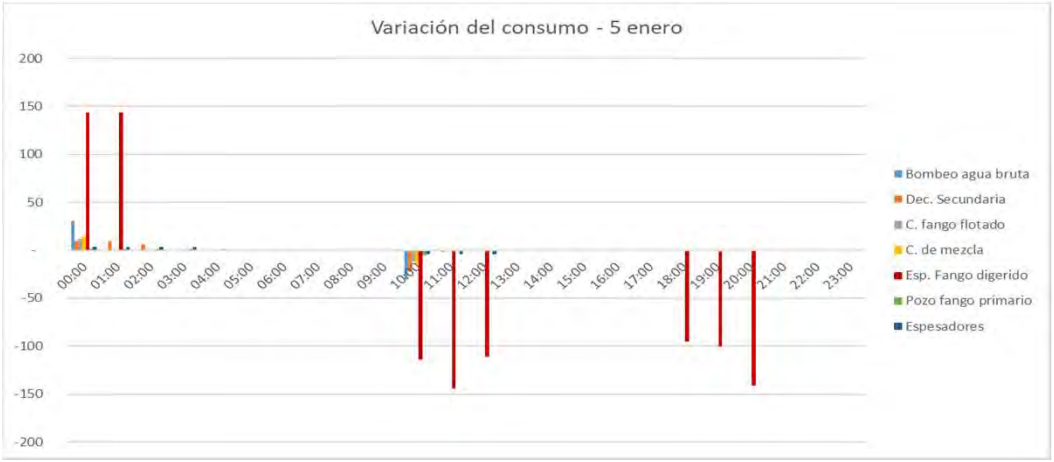
# Identificación de pautas

## Murcia Este

Variación del consumo



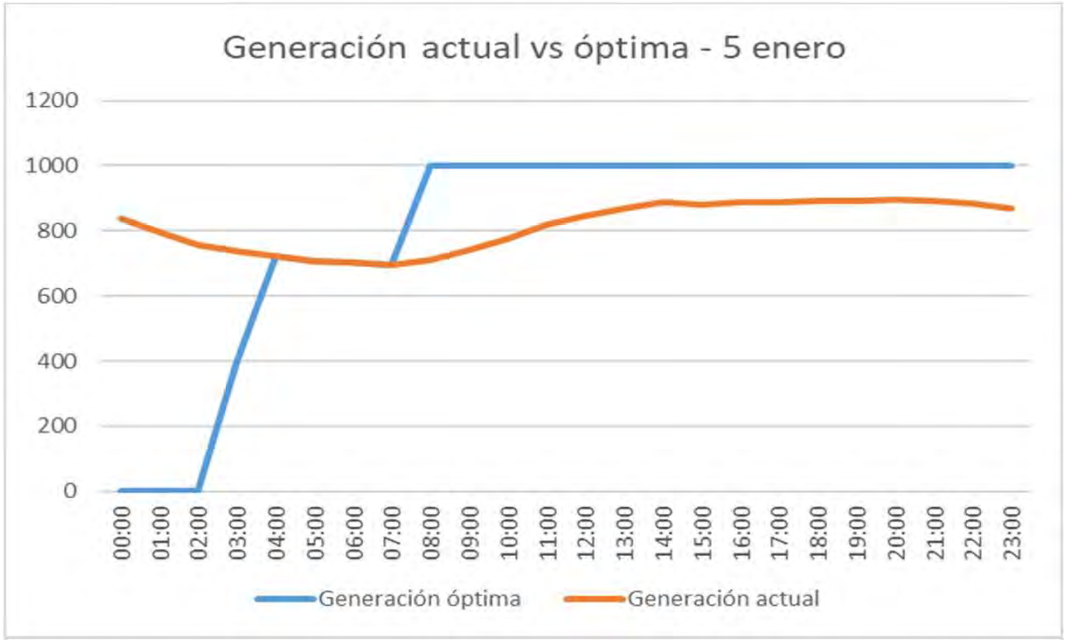

Mayor ahorro en deshidratación



# Identificación de pautas

## EDAR Murcia Este

Variación de la generación



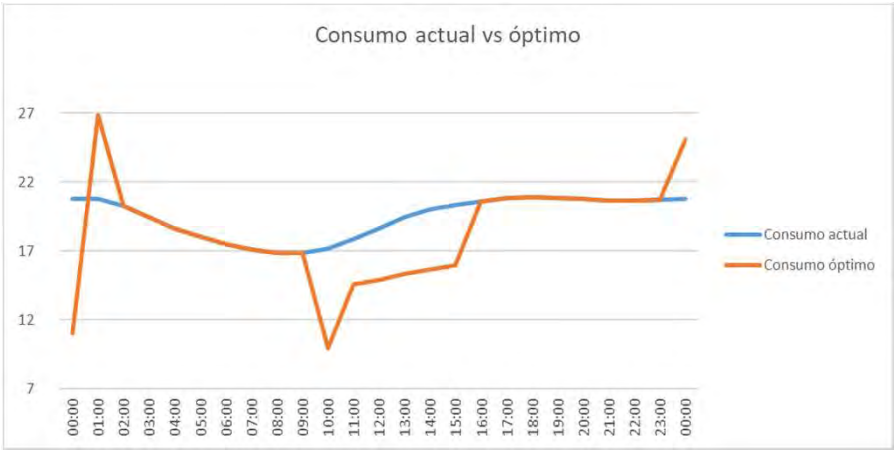

Almacenamiento de biogás en los gasómetros

Extracción de biogás de los gasómetros

# Identificación de pautas

## EDAR Hacienda Riqelme

Variación del consumo

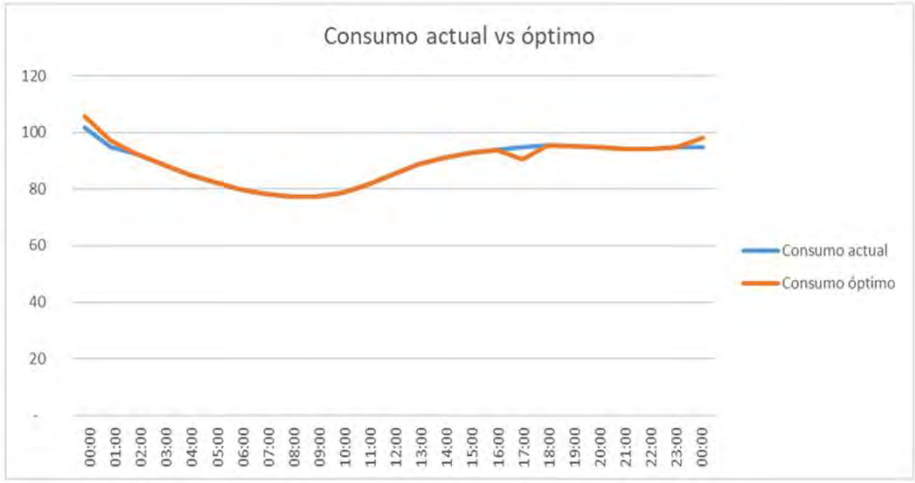


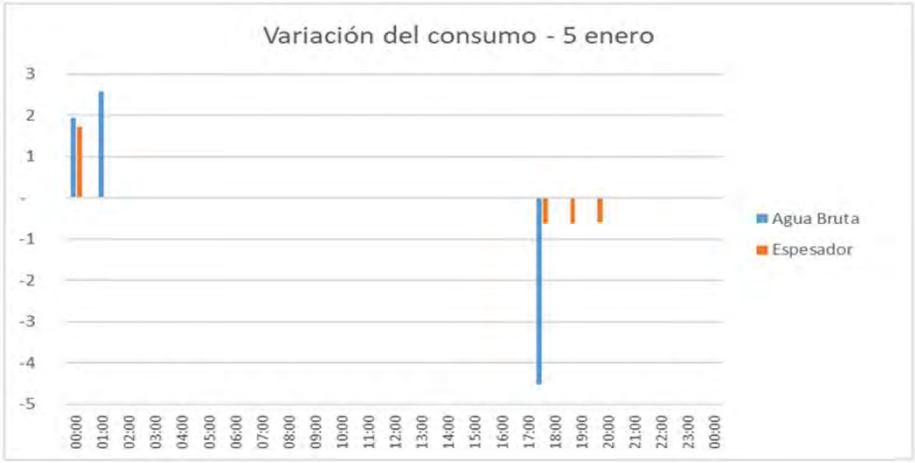
Mayor ahorro en el bombeo de agua bruta

# Identificación de pautas

## EDAR El Raal

Variación del consumo



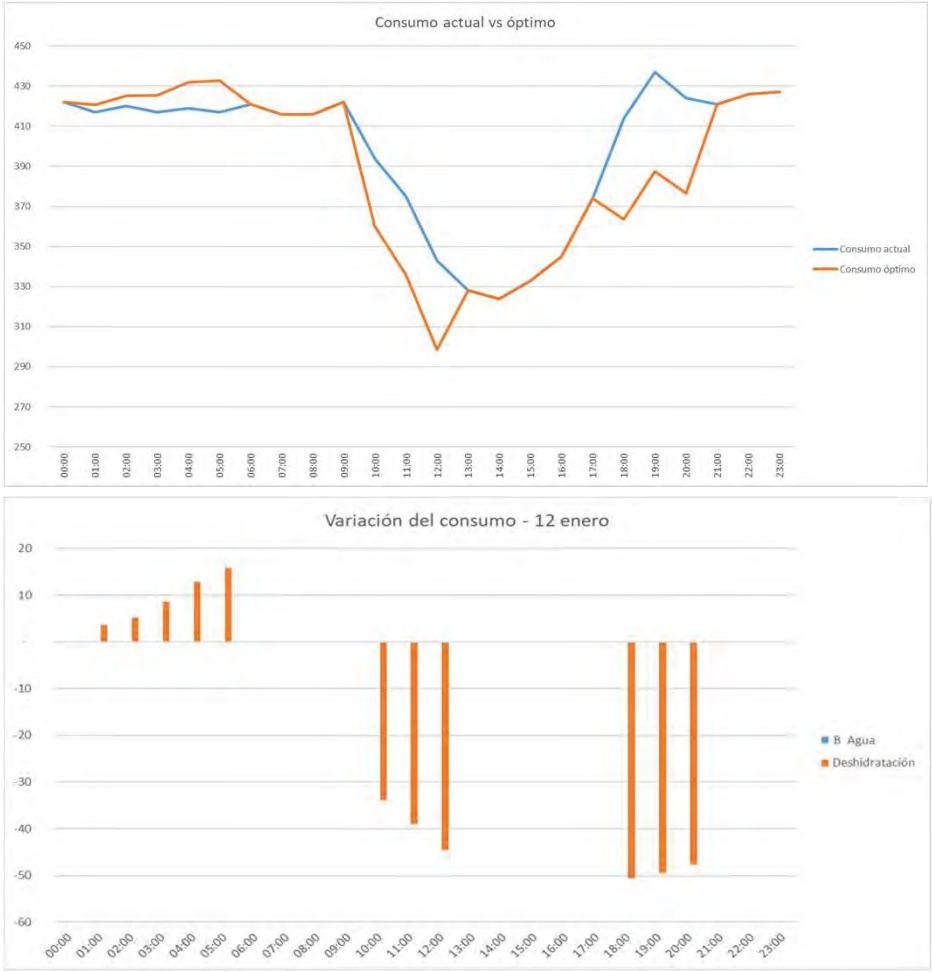

Escasa variación.

Principalmente del bombeo de agua bruta

# Identificación de pautas

## ETAP Contraparada

Variación del consumo




Más flexible deshidratación.

# 4. Modelos de negocio

REGENERA
energía&medioambiente

The Association of Energy Engineers
Spain Chapter

# Modelos de negocio

- **Demand Side Management**

  Gestión energética a nivel interno

  No existen restricciones legales para su implantación

  Se ahorra mediante el uso de la flexibilidad energética pero no se vende la flexibilidad

- **Participación en mercado de servicios de ajuste**

  Gestión energética según señal del operador del sistema eléctrico

  Existen restricciones legales para su implantación: flexibilidad mínima (obtenible mediante agregación)

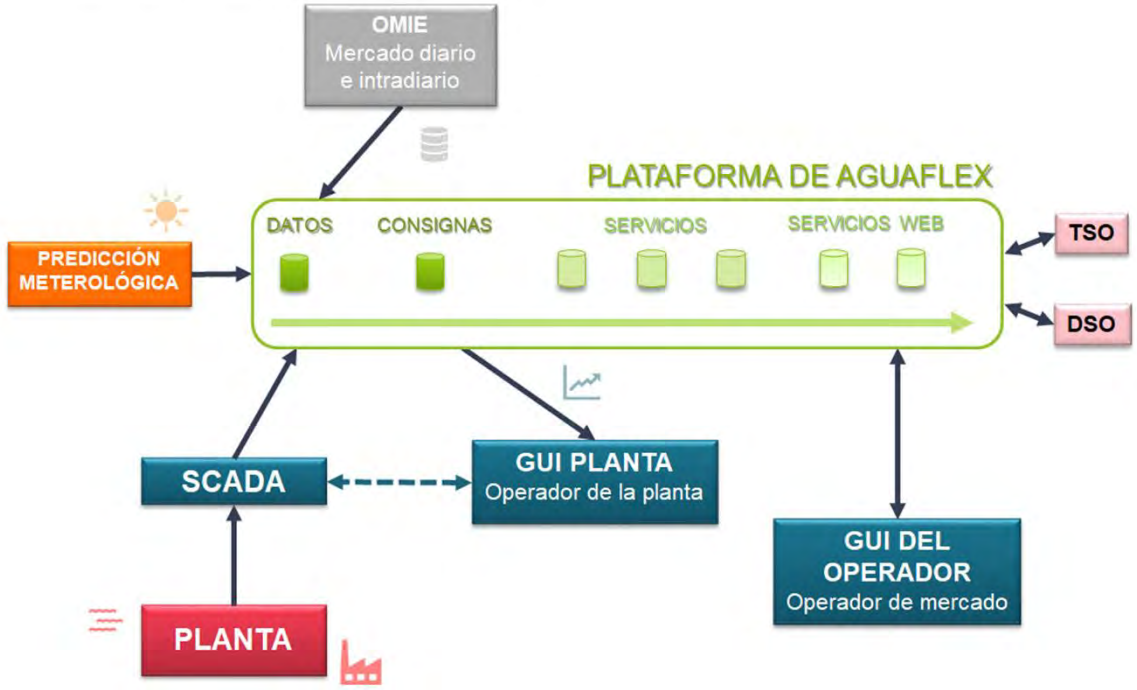
  Se vende flexibilidad

# Modelos de negocio

- **Demand Response**

  Menor restricción de flexibilidad mínima para participar en el mercado (2-5 MW)

  Se vende flexibilidad



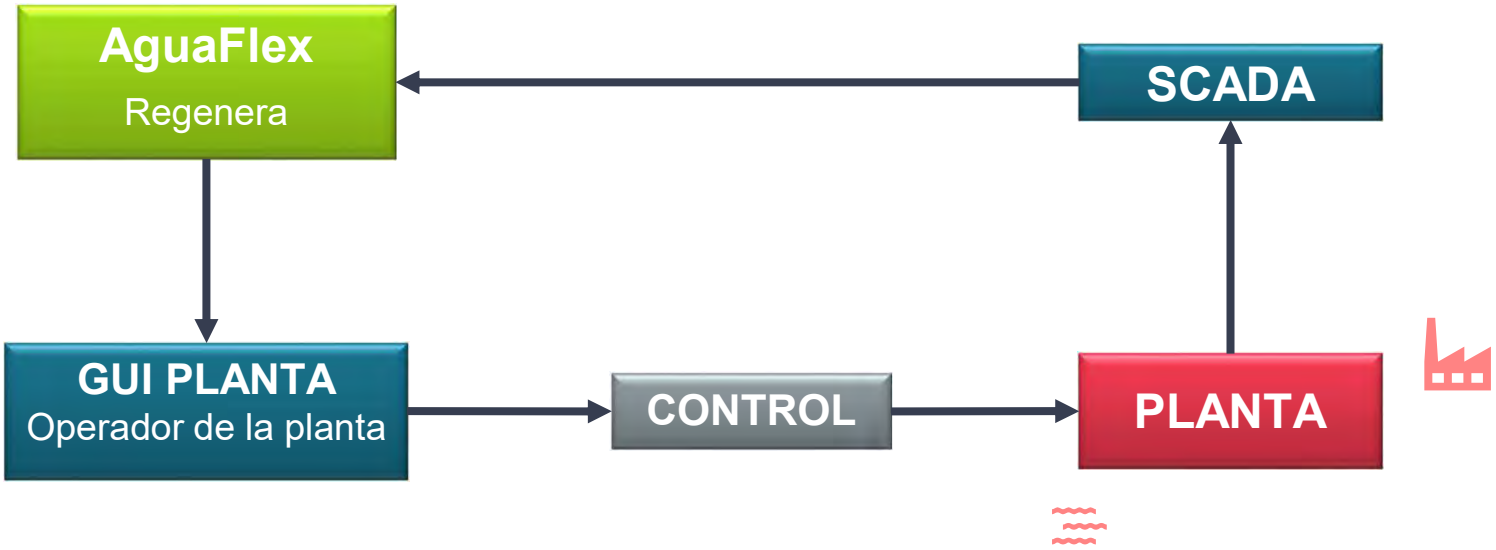
# 5. Perspectivas de futuro

REGENERA
energía&medioambiente

The Association of Energy Engineers
Spain Chapter

# AguaFlex II

- Creación de una **interfaz o front-end** que permita a EMUASA conocer la flexibilidad energética de la planta y los puntos de funcionamiento óptimos en tiempo real.



# AguaFlex II

- Optimización en tiempo real mediante:

  Conexión con **SCADA** de monitorización energética.

  Lectura de precios de la electricidad con **conexión directa** con OMIE.

- Sistema predictivo:

  Predicción PV.

  Caudales de entrada.

  Condiciones climáticas, etc.

- Herramienta personalizada
- Posibilidad de modificar parámetros de la instalación a través de la plataforma
- Opción de realización de simulaciones basadas en históricos

# ¡ Gracias por su atención !


**Contacto**

Francisco David Gallego

Director General

fdgallego@regeneralevante.com

m. +34 630 22 60 87


**www.regeneralevante.com**

**REGENERA Levante**

**@REGENERA_ESE**

REGENERA
energía&medioambiente

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# AguaFlex

# Desarrollo de una plataforma de cálculo predictivo-inteligente de la flexibilidad energética en tiempo real de plantas de tratamiento de agua

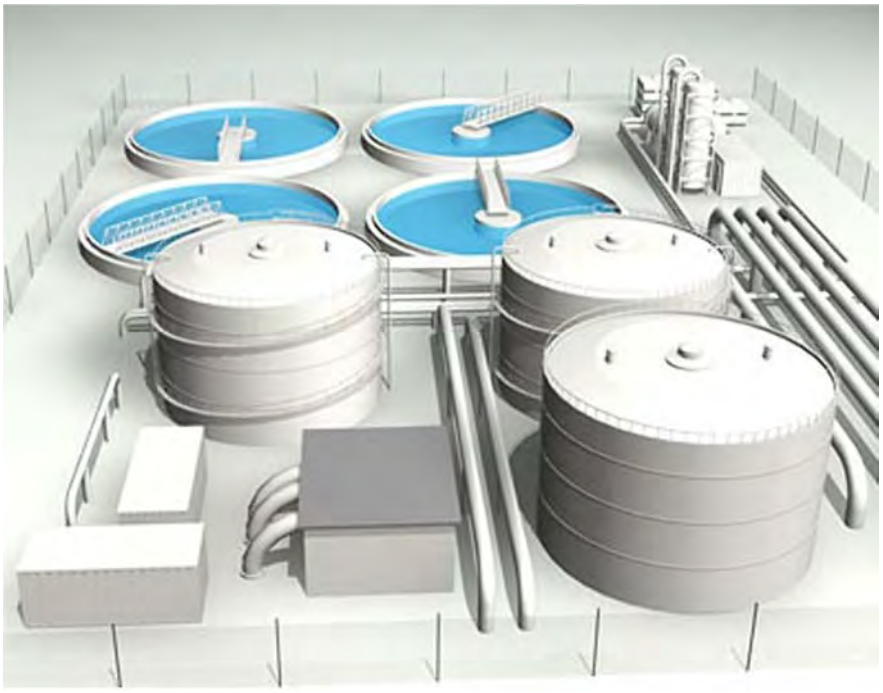
**Autores de la comunicación: T. I. Pöllänen[1], F. D. Gallego Martínez[2], J. Steinbeisser[3], C. L. Alonso Perez[4] y J. M. Pagan Carpe[5]**

1 Tuuli Inkeri Pöllänen, Pol. Ind. Camposol, C/ Mayor, 55, 30006 Murcia, España. tinkeri@regeneralevante.com
2 Francisco David Gallego Martinez, Pol. Ind. Camposol, C/ Mayor, 55, 30006 Murcia, España. fdgallego@regeneralevante.com
3 Johannes Steinbeisseer, Pol. Ind. Camposol, C/ Mayor, 55, 30006 Murcia, España. jsteinbeisser@regeneralevante.com
4 Carmen Lucia Alonso Pérez, Pol. Ind. Camposol, C/ Mayor, 55, 30006 Murcia, España. calonso@regeneralevante.com
5 Juana Maria Pagan Carpe, Pol. Ind. Camposol, C/ Mayor, 55, 30006 Murcia, España. jmpagan@regeneralevante.com

**Resumen:**

AguaFlex, de REGENERA, es una forma innovadora de reducir el coste de la electricidad en una planta de tratamiento de aguas residuales, basándose en la flexibilidad del mercado eléctrico. AguaFlex es un software inteligente, conectado al mercado eléctrico, que integre el uso de energías renovables y tecnologías punteras, es capaz de reconocer patrones de consumo y actuar de forma autónoma en la gestión integral de Demand Response. AguaFlex actualmente se ha llevado a cabo en 4 instalaciones en la Región de Murcia y los ahorros en estas instalaciones han llegado hasta 10-12%. La base en la que se apoya esta optimización es la realización de simulaciones y modelizaciones de la capacidad de la respuesta y flexibilidad de la demanda del consumo energético a lo largo del ciclo del agua de las plantas de tratamiento. Mediante la utilización de programas específicos y a través de la sensorización de las plantas basada principalmente en tecnologías de monitorización de consumos en tiempo real, este sistema creará un modelo de eficiencia que estipulará las pautas óptimas para obtener el menor consumo económico sin restringir el consumo necesario para el buen funcionamiento de la misma.

**Palabras clave:** Flexibilidad energética, Demand Response, Software industrial, Tratamiento de aguas, Ahorro energético



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 JUSTIFICACIÓN

Últimamente, la liberación del mercado eléctrico permite nuevas formas y estrategias para que las plantas operen. REGENERA identificó dos características del mercado de electricidad que pueden ser una oportunidad para reducir el coste de electricidad para los consumidores finales: (1) la posibilidad de pagar la electricidad por un coste de electricidad variable por hora, siguiendo la curva de precios de electricidad por hora definida diariamente por OMIE ; (2) Exigir respuesta. Esta estrategia se basa en el hecho de que el proveedor de electricidad tiene la posibilidad de tratar el consumo de electricidad durante períodos de tiempo específicos con los consumidores finales. El consumidor final puede decidir reducir el consumo de la red durante los altos picos de demanda eléctrica, transfiriendo este consumo a períodos de menor demanda y tarifas de electricidad, según la flexibilidad de las condiciones operativas de cada unidad de esta instalación. La factura eléctrica se ajusta de acuerdo con las tarifas durante el consumo de la red, en lugar del período de consumo máximo real, lo que lleva a un ahorro de energía evidente.

Ambas funcionalidades del mercado de electricidad podrían ser una oportunidad para reducir el coste de la electricidad en la EDAR y el WPP, pero es necesario desarrollar una herramienta inteligente que permita el control en tiempo real y la toma de decisiones, sin afectar el sistema de purificación de agua.

El elemento innovador de la tecnología es la adopción de un sistema con inteligente, conectado al mercado eléctrico y que integre el uso de energías renovables y tecnologías punteras, capaz de reconocer patrones de consumo y actuar de forma autónoma en la gestión integral de la eficiencia energética de una planta de tratamiento de aguas residuales, obtener una optimización del coste derivado del consumo eléctrica en base a predicciones de las condiciones de funcionamiento corrigiendo dicha optimización cuando se presenten desviaciones entre las predicciones realizadas y los consumos reales debidas a variaciones imprevistas de las condiciones de entrada.

## 1.2 DESCRIPCIÓN

REGENERA ha desarrollado un producto llamado AguaFlex. Es una nueva herramienta para reducir el coste de energía, específicamente en las plantas de tratamiento de agua. Existen muchas soluciones de software diferentes con funcionalidades similares y, a menudo, se adaptan a las necesidades específicas del sector industrial o de la planta, pero ninguna está especializada para esta instalación específica.

La plataforma gestionará los sistemas de producción y almacenamiento de energía. Mediante la integración de las energías renovables de la planta (solar fotovoltaica, geotérmica, biomasa, biogás etc.) y conociendo sus posibilidades de almacenamiento eléctrico (baterías, pilas de combustible, etc.) y los precios del mercado eléctrico, se podrá contar con una mayor flexibilidad para la planificación del consumo y la obtención de ahorros económicos.

El sistema, además, siguiendo las líneas actuales tecnológicas que marcan los conceptos de El Internet de las Cosas y la Industria 4.0 ofrecerá una serie de servicios de valor añadido para los usuarios a través de las tecnologías integradas, lo que mejorará la experiencia de uso por parte de los trabajadores y sus proveedores. Así, se contará con un sistema que integrará todos los servicios de la planta de tratamiento (alcantarillado, desengrasado, decantado, biológico, secado, etc.) y

brindará de información en tiempo real de los consumos de cada proceso y su evolución con respecto a la simulación y modelado realizado.

La plataforma gestionará los sistemas de producción y almacenamiento de energía. Mediante la integración de las energías renovables de la planta (solar fotovoltaica, geotérmica, biomasa, biogás etc.) y conociendo sus posibilidades de almacenamiento eléctrico (baterías, pilas de combustible, etc.) y los precios del mercado eléctrico, se podrá contar con una mayor flexibilidad para la planificación del consumo y la obtención de ahorros económicos.

Los datos actuales de consumos energéticos de cada planta en combinación con los datos climáticos interiores y exteriores, calendarios, capacidades de generación energética y de almacenamiento, fuentes de energías renovables, precios del mercado energético, etc., permitirá realizar y aplicar predicciones sobre el uso de las instalaciones para rebajar el precio y el consumo de energía de las plantas de aprovechamiento de agua, así como adoptar medidas en tiempo real para favorecer el ahorro y preservar el confort del usuario final.

Podemos simular todo el proceso y sus principales variables energéticas en diferentes escalas de tiempo del año al tiempo real, teniendo en cuenta las limitaciones del proceso y el tamaño diferente del componente. Además, el sistema de energía multivectorial constituido por cogeneración, fotovoltaica y almacenamiento se modela oportunamente. A partir de esto podemos implementar una plataforma.

AguaFlex muestra varias funcionalidades, como la herramienta de toma de decisiones de inversión para evaluar las inversiones necesarias y potenciales, así como el cambio de elementos, componentes o infraestructuras. Administra varias plantas con contratos de respuesta a la demanda, lo cual es relevante ya que una empresa generalmente administra varias EDAR y WPP (25-200). Los resultados han mostrado una reducción potencial del 10-12% del coste de la electricidad.

AguaFlex es un software capaz de optimizar el coste de la electricidad durante el proceso de tratamiento de agua, con el ajuste del tiempo de uso de los elementos que consumen electricidad, como bombas, mezcladores, unidades de deshidratación, etc., aprovechando la flexibilidad operativa de cada unidad en las EDAR y WPP. Además, considera la variación horaria del precio de la electricidad, según las tarifas del mercado eléctrico.

## 2 METODOLOGIA

Para estudiar los potenciales de flexibilidad de las plantas AguaFlex utiliza el modelado y la simulación. Debido a la complejidad de los procesos, para la simulación se llevarán a cabo simplificaciones, estudiándolas desde un punto de vista energético. Por medio de estas herramientas de simulación, se obtendrá una distribución del consumo óptimo de acuerdo con las demandas de producción y los costos de energía, de modo que se obtengan ahorros económicos en comparación con la situación inicial. Para reducir los costos de energía derivados de la operación de cada planta, se estudian estrategias de gestión de la demanda y respuesta a la demanda, donde los consumidores pueden proporcionar flexibilidad al sistema eléctrico variando su consumo de energía según las necesidades transmitidas por el operador del sistema. Además, se estudian posibles escenarios en los que se puede obtener una mayor flexibilidad de la planta a través del almacenamiento de

Con la implantación de AguaFlex en el EDAR y WPP, se pretende gestionar los sistemas de producción y almacenamiento de energía. Mediante la integración de las energías renovables de cada planta (solar fotovoltaica, geotérmica, biomasa, biogás etc.) y conociendo sus posibilidades de

almacenamiento eléctrico (baterías, pilas de combustible, etc.) y los precios del mercado eléctrico, el objeto para cada planta es una mayor flexibilidad para la planificación del consumo y la obtención de ahorros económicos.

Por ser un número tan elevado el total de las plantas de tratamiento de aguas de la Región de Murcia, para la realización del proyecto se ha tenido en cuenta para el estudio aquellas plantas de tratamiento que mejor se asemejen a los requisitos ideales del éste. Así, en primer lugar, se han tratado aquellas plantas que dispongan de mayor número de fuentes de energía renovable en sus diferentes tipologías, así como de sistemas de adquisición de datos de consumo en tiempo real más actualizados y con mayor detalle.

El estudio de la flexibilidad de las plantas y el ahorro que ésta podría ofrecer al implantarse *Demand Side Management* se realizó tomando como base un histórico de datos recopilado por las personas de contacto de cada una de las plantas. De esta forma, se realizó un estudio estático en base al histórico de datos recopilado, siendo el resultado del proyecto la identificación de aquellas pautas de funcionamiento que demuestran obtener un ahorro económico gracias al desplazamiento de los consumos entre distintos periodos tarifarios.

## 3 DATOS Y RESULTADOS

La tecnología se ha llevado a cabo en 4 instalaciones por colaboración con Aguas de Murcia Aguas de Murcia en: EDAR Murcia Este, EDAR El Raal, EDAR Hacienda Riquelme y EDAR Contraparada. A continuación, en Figuras 2-5 resumimos resultados de operación y ahorro.

*Figura 1 Los principales actores y flujos de datos*

| EXPLOTACIÓN | DIRECCIÓN | LONGITUD | LATITUD | CONSUMO (KWH/AÑO) |
|---|---|---|---|---|
| **EDAR MURCIA ESTE** | Calle Rincón de San Antón 60, 30161-Llano de Brujas, Murcia | -1°4'0'' | 37°59'44'' | 8.359.839 |
| **EDAR EL RAAL** | Carril de Los Vitos, S/N, 30139-El | -1°1'21'' | 38°2'57'' | 1.901.698 |
| **EDAR HACIENDA RIQUELME** | Calle Adriático S/N-Hacienda Riquelme, Murcia | -0°57'53'' | 37°54'0'' | 962.591 |
| **ETAP CONTRAPARADA** | Carril de la Contraparada S/N 30831-Javalí Viejo Murcia | -1°13'0.49'' | 3759'51.84'' | 236.468 |

*Tabla 1 Las plantas de purificación de agua donde se ha probado la tecnología*

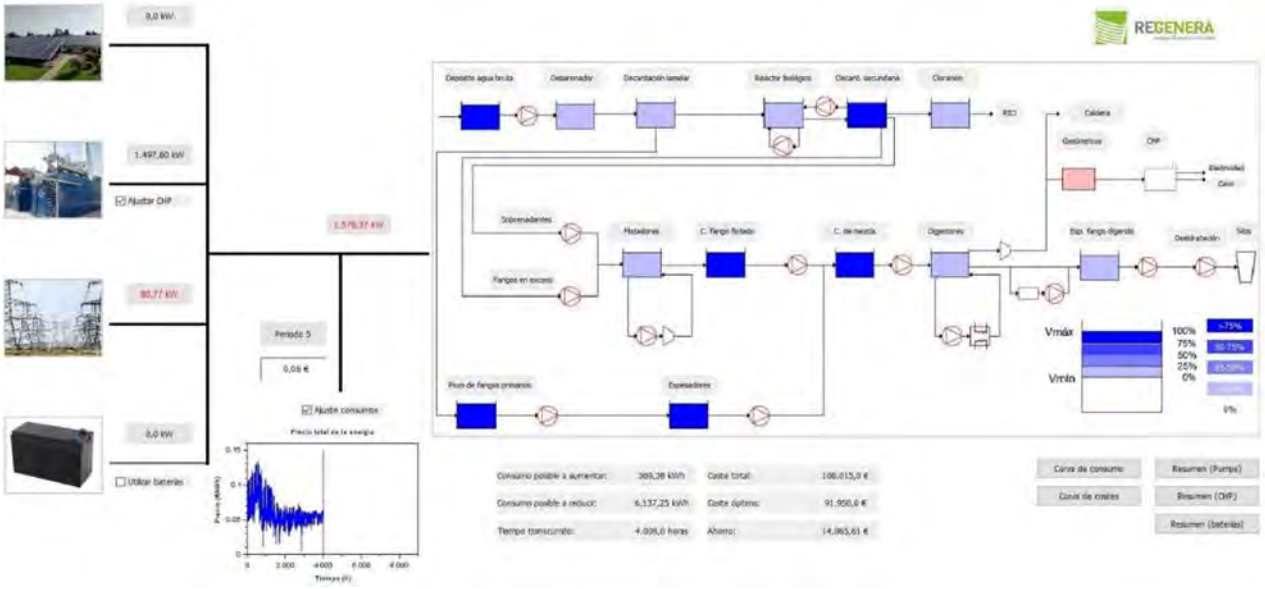



*Figura 2 Resumen de los ahorros AguaFlex*

*Figura 3 Resumen del ahorro económico obtenido mediante la variación del consumo según el coste de la electricidad desglosado por grupos de consumo*

*Figura 4 Resumen del ahorro económico obtenido mediante la variación de la generación eléctrica*

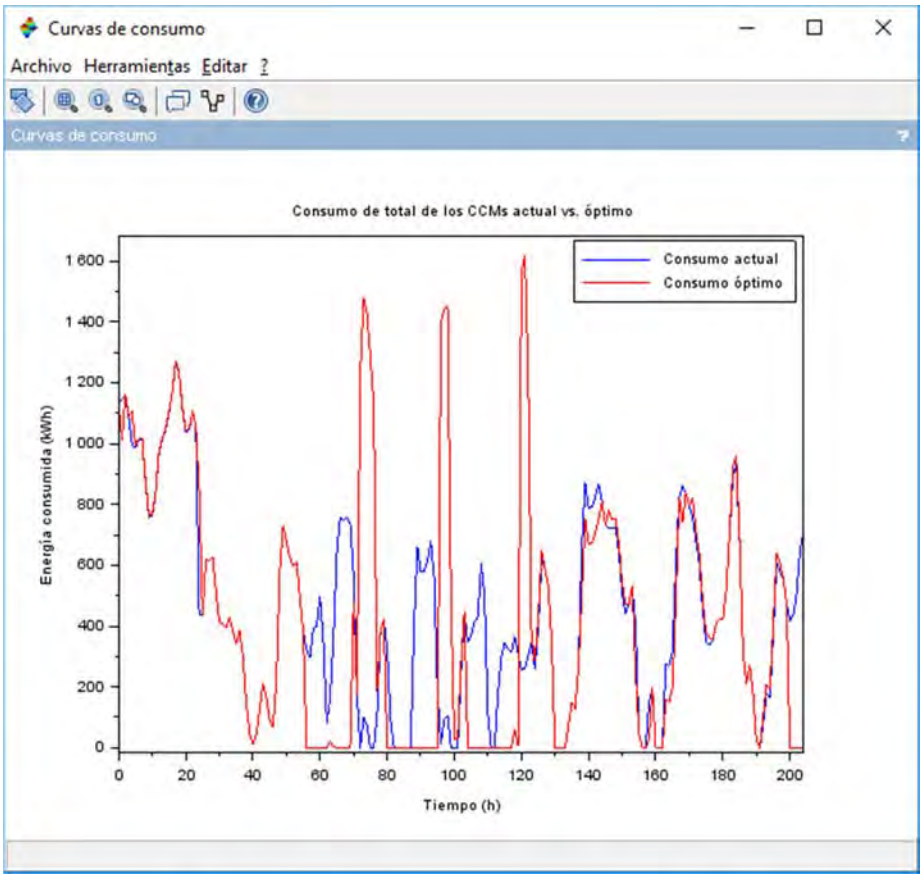


*Figura 5 Consumo total actual vs. optimo*

## 3 DESCRIPCIÓN TECNICA

La finalidad del estudio fue el aprovechamiento de la flexibilidad energética para conseguir un ahorro económico, bien gestionando el consumo a nivel interno desplazando el consumo eléctrico según el precio por kWh (Demand Side Management), o bien gestionando el consumo a nivel externo bajo petición de un agregador de la demanda en un futuro en el que se implante Demand Response en España. Además, gracias a la incorporación de un módulo que permita gestionar la demanda de la red según eventos de Demand Response, las plantas que cuenten con esta plataforma podrán participar en un nuevo modelo de negocio que, además de contribuir al balance de la red ayudando a garantizar la seguridad del suministro eléctrico, les permitirá obtener una compensación económica por ello.

Se ha realizado una serie de simulaciónes y modelados de la capacidad de la gestión y flexibilidad de la demanda de consumo energético en las plantas de tratamiento de agua de la Región de Murcia. A través de la información actual de consumos y generaciones energéticas, de las características técnicas y geoclimáticas de cada planta, así como el precio de la energía marcado por el mercado eléctrico y las normativas españolas se estudiaron los patrones de consumo/generación con el fin de establecer una gestión de la demanda de consumo eficiente energética y económica. Los resultados iniciales de estas simulaciones son prometedoras puede llegar a cerca de 15%.

Estas simulaciones sirven como punto de partida para la consecución de un porcentaje elevado de ahorro energético que derivará un gran ahorro económico si fuesen puestas en práctica. Además, se utilizarán como punto de partida para la creación de una plataforma inteligente que gestionará de manera autónoma la gestión de la demanda energética de la planta. A continuación, describimos aspectos relacionados con la solución técnica y su futuro implementación en otras plantas de tratamiento de agua, aparte de los proyectos piloto.

### 3.1 SIMULACIÓN

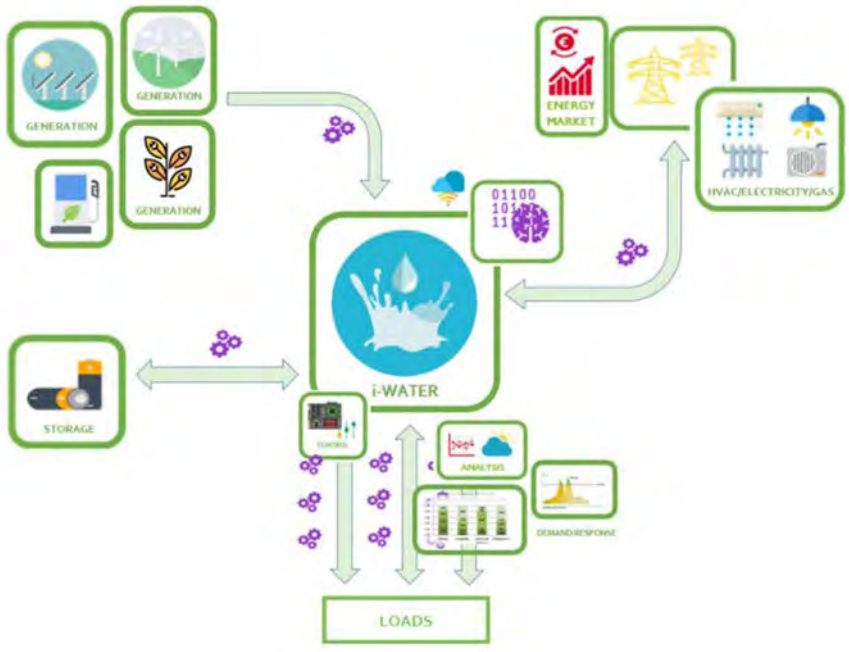



*Figura 6 Componentes y flujos de AguaFlex*

A continuación, definimos los componentes y flujos más importantes de la tecnología, con referencia a la Figura 5.

Generación de energía

En la esquina superior izquierda de la figura se muestran diferentes tipologías de energía renovable, fotovoltaica, térmica, biomasa, biogás, etc. Gracias a la generación y aprovechamiento de los residuos existentes en la planta se consigue derivar parte del consumo de la planta a estas fuentes reduciendo la potencia contratada total de la planta y evitando un porcentaje de emisiones de los gases nocivos al medio ambiente. La simulación que en este proyecto se plantea estudiará el porcentaje óptimo que debe ser utilizado de manera directa en cada momento y cual deberá ser almacenado para un consumo posterior.

Almacenamiento de energía generada

Ya se ha adelantado en el párrafo anterior la contribución del almacenamiento en este sistema, y es que se realizarán simulaciones en las que se estudie la influencia de disponer de sistemas de baterías o similares que puedan guardar las energías generadas. Este almacenaje será utilizado conforme al movimiento de las cargas que se estipule para la consecución del punto óptimo de eficiencia energética de la planta.
La simulación en este punto "jugará" con los porcentajes que puedan extraerse directamente del almacenaje flexibilizando al máximo la ubicación de las cargas consumidoras de la planta.

Consumo/ Demanda de energía de la planta

Inicialmente se trabajará sobre las plantas que dispongan de fuentes renovables de consumo para tratar, más adelante, con las que no disponen de ellas simulando la influencia de disponer generación en la planta y el porcentaje de actuación que debe entrar en juego en el proceso de consumo de la planta. Igualmente se realizarán simulaciones que tengan en cuenta no sólo las fuentes de energía renovable actualmente existentes sino las potencialmente recomendables según las características técnicas y climatológicas de cada planta.
Queda reflejada esta partida en la esquina superior derecha de la figura.

Modelado y simulación de la flexibilidad de la demanda de la planta

A través de los conceptos de respuesta y flexibilidad de la demanda la planta será objeto de simulaciones a partir de un modelado con software específico realizado por datos actuales de consumo de cada una de las plantas de tratamiento involucradas en este proyecto. Estas simulaciones estudiarán los efectos de estos dos conceptos en la reducción del consumo energético de las plantas en general y de cada sistema interviniente en particular. Se realizará por tanto la búsqueda del procedimiento de consumo óptimo en función de las características propias de cada planta.

Precios de energía conforme a los mercados energéticos españoles y las tarifas estipuladas con las compañías distribuidoras

Con el fin de establecer los parámetros económico-energéticos influyentes en el proceso de tratamiento acuático, el modelado y simulaciones a realizar en el presente proyecto tendrá en cuenta en todo momento los precios que Aguas de Murcia tiene actualmente contratado con las diferentes

distribuidoras (según tipo de energía consumida) así como los que los mercados energéticos vayan estableciendo.
Podrán llevarse a cabo simulaciones de cara a costes futuros con precios energéticos derivados de estimaciones con base los cambios producidos en los últimos años.

Plataforma inteligente

Aunque el objeto de este contrato no es el desarrollo de una plataforma inteligente, se deberá tener en cuenta como fruto de las simulaciones que se van a desarrollar, así como las conclusiones que se van a obtener. Estas simulaciones se podrían considerar como un punto de partida para el desarrollo de una plataforma inteligente capaz de realizar de manera directa las pautas y directrices que se obtengan en los resultados del presente estudio.

## 3.2 COMUNICACIÓN Y PREVISION

El software AguaFlex se conectará al SCADA (Control de Supervisión y Adquisición de Datos) de cada instalación para operar las bombas, válvulas y otros componentes relacionados con el consumo de electricidad. El software se alimentará con las tarifas diarias de electricidad, proporcionadas por OMIE (operador del mercado de electricidad) y una predicción meteorológica, proporcionada por AEMET (Agencia Estatal de Meteorología). Con el rango de los parámetros operativos de cada unidad operativa y mediante varias simulaciones el software puede determinar el período de operación por hora de cada elemento con el consumo de energía en la planta (Gestión de la demanda).

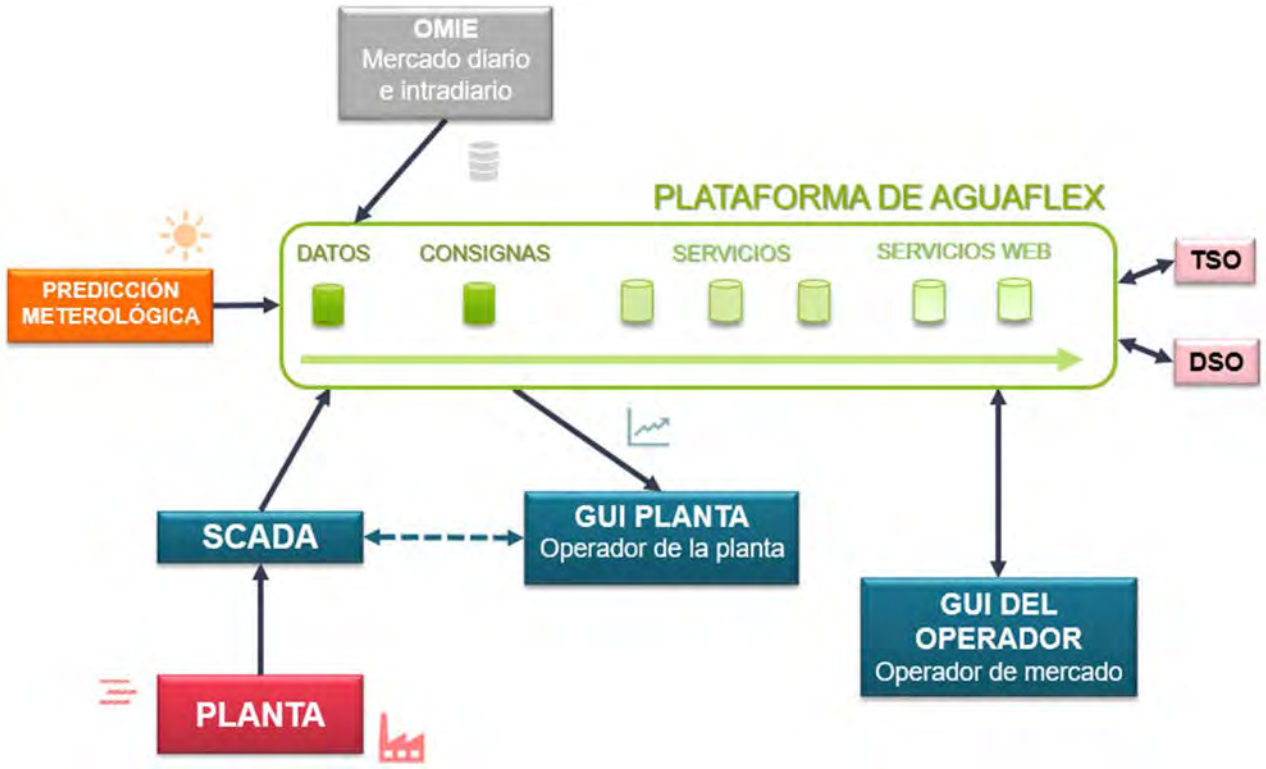



*Figura 7 Plataforma AguaFlex*

Además, si el sistema recibe una solicitud del operador del mercado para reducir o aumentar el consumo de electricidad (evento de Respuesta a la demanda), AguaFlex determinará la

conveniencia de reducir o aumentar la demanda de electricidad de la red para obtener el máximo beneficio. Como resultado, la instalación lleva a cabo un proceso diario que cumple los requisitos de calidad del agua, pero con el mínimo coste de electricidad posible. Además, debido a la variación en el comportamiento de las plantas según las condiciones climáticas, se comunicará igualmente a la plataforma una previsión de precipitaciones, así como de irradiación para las previsiones de caudal de entrada a la planta y de generación energética gracias a los paneles solares instalados. El cálculo del consumo óptimo se realizará de forma diaria y será corregido cuando las condiciones de entrada varíen.

## 3.3 OPTIMIZACIÓN

Los resultados obtenidos serán comunicados a un front-end desde el que los operadores de las plantas podrán comprobar la flexibilidad energética disponible a reducir y a aumentar, así como las recomendaciones para la optimización de la distribución del consumo energético. Se mostrará una representación gráfica del consumo estimado en condiciones de funcionamiento normales y del consumo que se obtendría si se gestionase la planta haciendo un uso eficiente de las opciones de flexibilidad de forma que el operario pueda planificar el funcionamiento de la planta. Además, se enviarán alertas ante desviaciones significativas entre el coste eléctrico en un determinado momento y el óptimo.

La correcta gestión de los elementos de consumo y de generación permitirá la optimización de los recursos energéticos de la planta. Así, será posible, por ejemplo, reducir al máximo el desaprovechamiento de ciertos recursos como puede ser la energía no generada a partir de los paneles solares fotovoltaicos debido a un consumo situado por debajo de las capacidades de generación. Otro ejemplo sería la optimización de los motores de cogeneración, gestionando el biogás disponible evitando la quema del mismo lo máximo posible.

## 3.4 SERVICIOS

Diagnóstico inicial

Se identificarán diferentes parámetros de control para cada componente y se evaluará la flexibilidad específica. Esta tarea será llevada a cabo por el equipo de ingenieros especializados de REGENERA. Después de un estudio detallado, se presentará una propuesta para la adaptación de la herramienta a las necesidades de energía específicas de cada instalación. El estudio está previsto que dure 2 meses por instalación. El lanzamiento del software posterior a la Fase 1, la adaptación y configuración del software se llevará a cabo. Se llevará a cabo una programación personalizada del software, así como la instalación y el acondicionamiento para la automatización y conexión de todos los componentes, incluidas las unidades de bombeo, válvulas, sistema de deshidratación, etc.

Mantenimiento del software

Durante la última etapa del modelo de negocios, el personal de REGENERA llevará a cabo la actualización continua del software, asumiendo la responsabilidad de su mantenimiento y actualizaciones diarias, así como la evaluación y el registro de los ahorros de costes para la aplicación específica. Se enviará un informe a cada cliente, mensualmente, detallando los resultados obtenidos.

La gestión de la energía eléctrica REGENERA será el intermediario entre el consumidor y el mercado eléctrico. REGENERA controlará el consumo de energía y el coste de energía en cada

instalación. Además, cada mes se elaborará un informe de energía con un alto detalle del consumo de energía, el coste de energía y el ahorro de costes de energía debido a la incorporación de AguaFlex.

El sistema, además, siguiendo las líneas actuales tecnológicas que marcan los conceptos de El Internet de las Cosas y la Industria 4.0 ofrecerá una serie de servicios de valor añadido para los usuarios a través de las tecnologías integradas, lo que mejorará la experiencia de uso por parte de los trabajadores y sus proveedores. Así, se contará con un sistema que integrará todos los servicios de la planta de tratamiento (alcantarillado, desengrasado, decantado, biológico, secado, etc.) y brindará de información en tiempo real de los consumos de cada proceso y su evolución con respecto a la simulación y modelado realizado.

## 3.5 FASES DE DESARROLLO

FASE I. Desarrollo de un modelo predictivo para el cálculo del caudal

Se desarrollará un modelo que, dado un histórico de datos de caudal y datos provenientes de fuentes de previsión meteorológica, permita calcular una curva de caudal esperado de entrada de agua bruta a la EDAR y a la ETAP.

FASE II. Desarrollo del modelo de optimización de costes energéticos

Se ideará un algoritmo que, según la previsión de caudal estimada a partir del modelo de la fase anterior, realice una optimización de la distribución del consumo eléctrico en base a distintos parámetros, como el coste del kWh según la tarifa de precios fijos o según el mercado eléctrico.

FASE III. Desarrollo del modelo de corrección de desviaciones

La optimización de los costes energéticos se realizará a partir de predicciones. Sin embargo, las condiciones reales pueden desviarse de dichas predicciones. Por ello, será necesaria la creación de un modelo que corrija dichas desviaciones en tiempo real cuando éstas excedan un cierto rango.

FASE IV. Desarrollo de la plataforma

Una vez desarrollados los distintos modelos que compongan la plataforma, se procederá a la integración de dichos modelos en una plataforma que:

1) Realice el cálculo de la distribución óptima del consumo energético corrigiendo dicha distribución cuando las condiciones previstas se desvíen en gran medida de las que finalmente están teniendo lugar.

2) Emita alertas cuando las lecturas tomadas de la planta reflejen un consumo relativamente alejado del óptimo.

3) Evalúe el grado de optimización del coste energético de la planta mediante un indicador que compare el coste del kWh de la planta con el coste del kWh medio del mercado eléctrico. Se dejará preparado, además, un módulo dentro de la plataforma que permita el envío de una alerta ante la posibilidad de participar en un evento de Demand Response cuando este modelo de negocio esté implementado en España.

FASE V. Conexión de la plataforma para toma de datos en tiempo real
Una vez se haya desarrollado la plataforma, se procederá a su conexión con el SCADA de monitorización de cada una de las plantas para la lectura de los datos necesarios para la realización de la estimación. Además, se automatizará la descarga de precios desde OMIE y se enlazará con AEMET Open Data para la obtención de las previsiones meteorológicas que afectan a los procesos de tratamiento de agua de las plantas sobre las que se trabajará.

FASE VI. Integración de un módulo de simulación

De forma adicional, se incluirá en la plataforma un módulo basado en la herramienta desarrollada para AguaFlex I que permita simular el ahorro económico que podría obtenerse mediante distintas medidas de aumento de la flexibilidad energética personalizadas por los operadores de la planta como puede ser la instalación de baterías eléctricas, la incorporación de un tanque de tormentas etc. Además, se realizará un estudio económico de la medida calculando periodos de retorno de la inversión, rentabilidad, etc.

FASE VII. Creación del Front-end

Por último, se creará un Front-end que reciba los datos de la plataforma desarrollada y que permita la interacción de los operarios de la planta con la plataforma.

## 7. REGENERA

Establecida en 2007, REGENERA LEVANTE, S.L. es una PYME y ESE con oficinas en Murcia y cuya actividad se centra principalmente en la eficiencia energética y las energías renovables. Nuestros principales sectores son el energético, el industrial y el ciclo de agua, con especial importancia el binomio agua-energía (water-energy nexus). Destina grandes recursos a la diferenciación de la competencia mediante innovación. El rol de en el proyecto es la ingeniería de diseño del sistema y la integración de la invención en las distintas tipologías de estaciones depuradoras, incluida la integración de la monitorización con el sistema de control existente de cualesquiera parámetros de funcionamiento de la estación depuradora, tiene gran importancia la generación de energía renovable y el sistema de eficiencia energética que permitirá implantarlo en cualquier tipo de depuradora sin incrementar el consumo energético ni precisar modificaciones en la infraestructura de suministro eléctrico.

Asimismo, REGENERA cuenta con una dilatada experiencia en la gestión de proyectos habiendo llevado a cabo numerosas obras, instalaciones y asistencias técnicas, con entidades públicas y privadas. Entre los proyectos que realizamos se encuentran la monitorización de consumos e identificación de mejoras de eficiencia energética, instalaciones hidráulicas, instalaciones fotovoltaicas, gestión y compra de energía como agentes de mercado y la validación de residuos como materiales de construcción. Además, ofrecemos asesoramiento técnico y representación en proyectos europeos dentro de la convocatoria H2020 y en plataformas europeas a nuestros clientes, como Aguas de Murcia.

*Figura 8 REGENERA LEVANTE S.L., ha establecido en su organización un sistema de Calidad y Gestión del Medio Ambiente basado OHSAS 18001:2007, ISO 50001:2011, ISO 9001:2015 y ISO14001:2015.*

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

16:00 - 18:00

**SESIÓN 3 Track A. ENERGÍAS RENOVABLES y SERVICIOS ENERGÉTICOS**
Modera: Marc Masó. **AEE SPAIN CHAPTER**

"La eficiencia energética en los servicios" **Raúl Ramos Gamero.** Coordinador de Proyectos de Servicios Energéticos. **FERROVIAL SERVICIOS**

"Digitalización de la energía y su calidad" **Jacinto López Valero.** Gerente. **CYDESA**

"Desarrollo de una plataforma de cálculo predictivo-inteligente de la flexibilidad energética en tiempo real de plantas de tratamiento de agua" **Francisco David Gallego Martínez.** Director. **REGENERA**

"Energy performance measurement of an air-cooled chiller: on-field vs manufacturer data" **Rafael Pérez Cortines.** Senior Business Development Supervisor. **DAIKIN EUROPE N.V.**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# ENERGY PERFORMANCE MEASUREMENT OF AN AIR-COOLED CHILLER: ON-FIELD VS MANUFACTURER'S DATA

Rafael Pérez Cortines, CEM, CEA, CMVP.

DAIKIN

aee The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Can we **trust** manufacturer's data?

# Can we **use** catalogue data?

## Is this an on-site witness test?

- **No**, it is not.
- The methodology presented in this document does **not** pretend to replicate measurements done under **laboratory conditions**, but simply to take advantage of **existing data** and thus providing added value information to chiller's owners as an **indication** of the energy efficiency of a chiller on site.
- To accurately measure the performance of chillers on site it is recommended to follow **ANSI/ASHRAE Standard 184-2016 Method of Test for Field Performance of Liquid-Chilling Systems**.

# Table of Content


1 INTRODUCTION

2 DATA

3 METHODOLOGY

4 RESULTS AND DISCUSSION

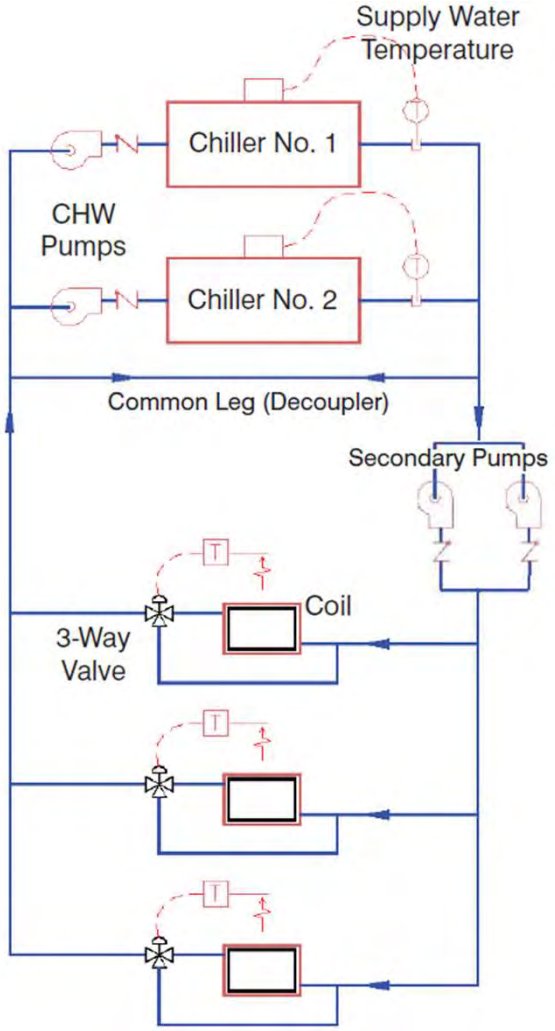
5 CONCLUSIONS

# 1. INTRODUCTION

- Energy efficiency projects with chillers
- Need for **energy consumption** estimate → simulation → **model**
- Pre-retrofit → model f(manufacturer's data)
- But, can I trust **manufacturer's data**?
- Can I use **catalogue values**?
- How **accurate** the energy consumption estimate would be?
- It impacts the **financial performance** indicators of my project

# 1. INTRODUCTION

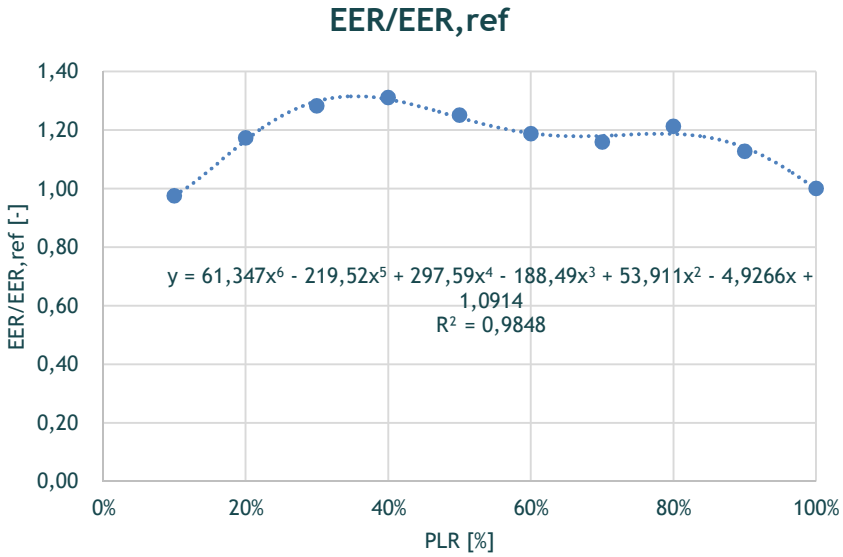
- Urban **4* hotel** in Madrid (Spain)
- **~200 rooms**, restaurant, lobby bar and meeting rooms
- 8 floors
- **2 x air-cooled VFD screw chillers**, 2 x boilers
- Fan coil units (FCU), air handling units (AHU), and radiators.
- 4-pipe production, 4&2-pipe distribution
- **Primary** (constant flow)**-Secondary** (constant flow)




Simplified cooling piping layout of the chilled water installation

# 2. DATA

- **Manufacturer's data** → Chiller Selection Software (CSS) → Model development

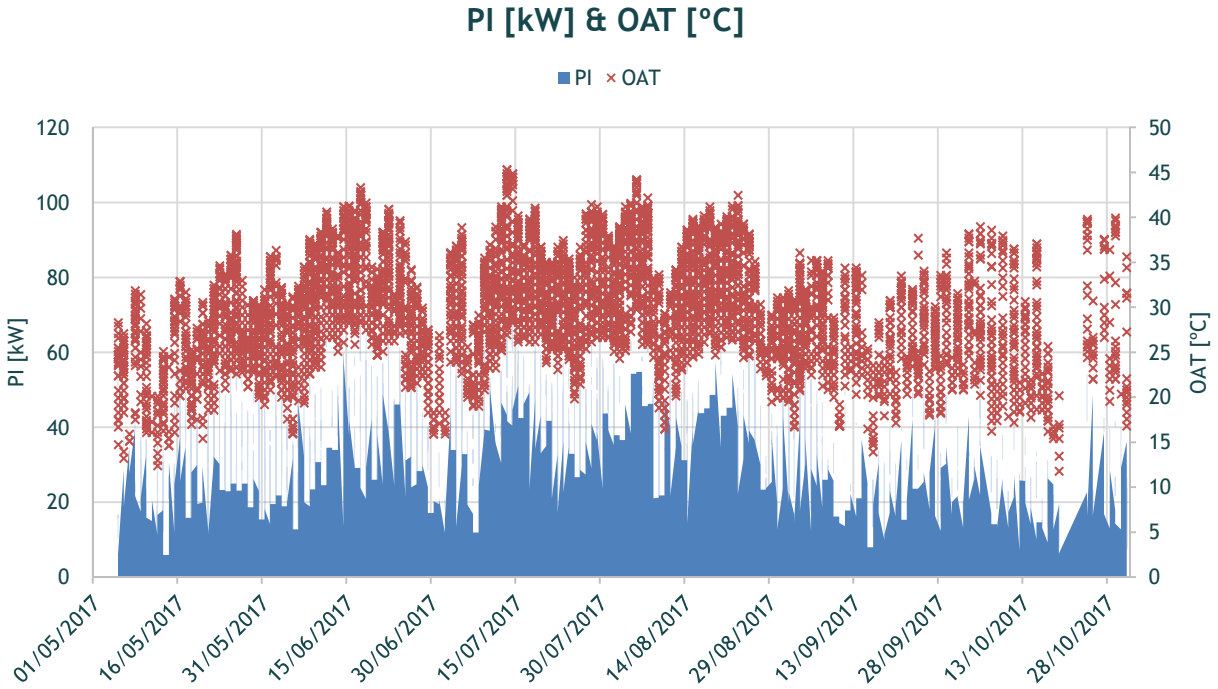



| 4,501 observations | OAT [°C] | EEWT [°C] | ELWT [°C] | CC [kW] | PI [kW] | EER [kW/kW] | PLR [%] | V [l/s] | DP kPa] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Minimum | 5.0 | 10.0 | 5.0 | 16.3 | 3.1 | 1.8 | 10.0 | 7.9 | 16.4 |
| Maximum | 45.0 | 20.0 | 15.0 | 260.8 | 87.2 | 10.4 | 100.0 | 12.7 | 38.3 |

# 2. DATA

- **On-field measurement → Daikin on Site (DoS) → Model validation**

- Change of Value (CoV)
- 15-minute Interval
- Filtering Strategy
  - Data Online < 1
  - Flow Status < 1
  - PI<1 ; PLR=0
  - DT≤0.5; D>>>



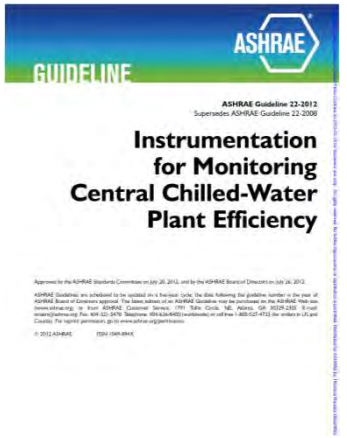

| 9,610 observations | Time [mmm dd yyyy hh:mm] | Online [0,1] | FS [0,1] | OAT [°C] | DP [kPa] | EEWT [°C] | ELWT [°C] | DT [°C] | $PLR_m$ [%] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Minimum | May 1st 2017 00h00 | 0.0 | 0.0 | 11.8 | 23.0 | 7.3 | 6.2 | 0.5 | 0.1 |
| Maximum | October 31st 2017 24h00 | 1.0 | 1.0 | 45.3 | 25.0 | 25.4 | 24.8 | 6.3 | 1.0 |

# 3. METHODOLOGY

## 3.1. Cooling load & energy performance

- **ASHRAE Guidelines 22-2012** Instrumentation for Monitoring Central Chilled-Water Plant Efficiency

$$\begin{cases} \boldsymbol{CL}[kW] = \boldsymbol{m_w}[kg/s] \cdot \boldsymbol{c_p}[kJ/(kg \cdot K)] \cdot \Delta \boldsymbol{T}[°C] \\ \boldsymbol{EER}[kW/kW] = \dfrac{\boldsymbol{CL}[kW]}{\boldsymbol{PI}[kW]} = \dfrac{\boldsymbol{m_w}[kg/s] \cdot \boldsymbol{c_p}[kJ/(kg \cdot K)] \cdot \Delta \boldsymbol{T}[°C]}{PI[kW]} \\ \boldsymbol{m_w}[kg/s] = \boldsymbol{w}[l/s] \cdot \boldsymbol{\rho_{water}}[kg/m^3] \end{cases}$$




- **ANSI/ASHRAE Standard 184-2016** Method of Test for Field Performance of Liquid-Chilling Systems

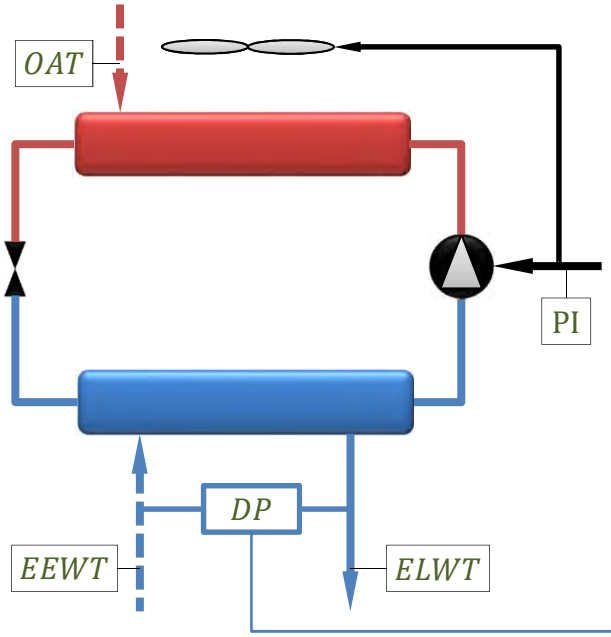
$$\begin{cases} \rho = \rho_4 \cdot T^4 + \rho_3 \cdot T^3 + \rho_2 \cdot T^2 + \rho_1 \cdot T + \rho_0 \\ c_p = c_{p5} \cdot T^5 + c_{p4} \cdot T^4 + c_{p3} \cdot T^3 + c_{p2} \cdot T^2 + c_{p1} \cdot T + c_{p0} \end{cases}$$

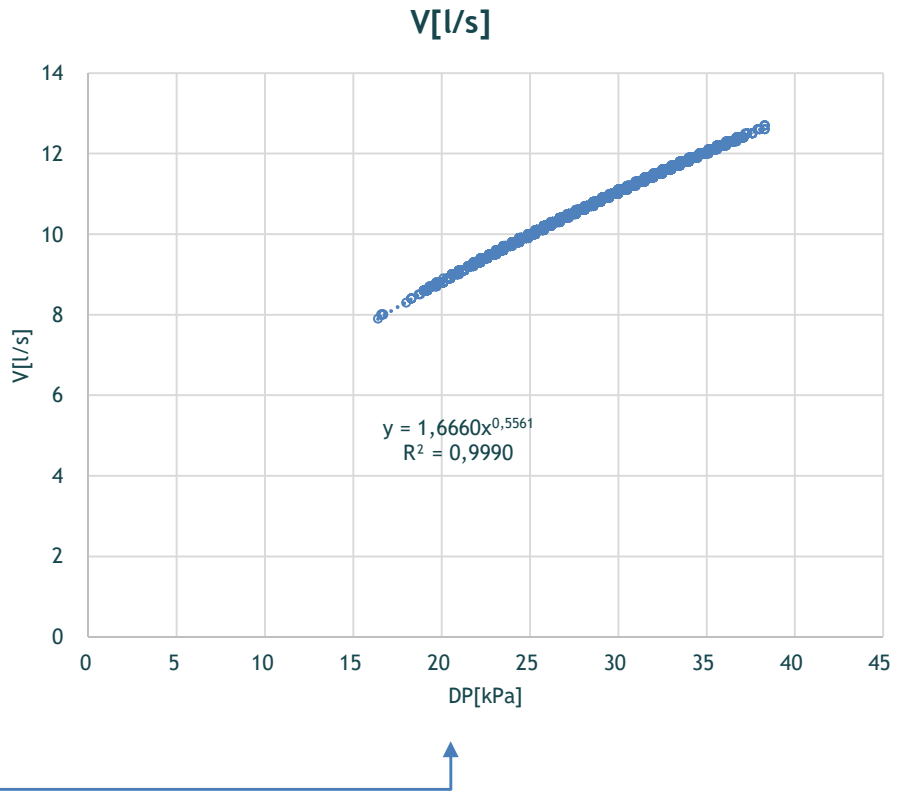
# 3. METHODOLOGY

## 3.1. Cooling load & energy performance

- **Water flow rate** = f(water side evaporator's pressure drop) → Manufacturer's data

$$\boldsymbol{w}[l/s] = \boldsymbol{a} \cdot \boldsymbol{DP^b}[kPa]$$



# 3. METHODOLOGY

## 3.2. Chiller's model f(manufacturer's data)

- **DOE-2.1 simulation model**

$$PI = PI_{ref} \cdot f_1(ELWT, OAT) \cdot f_2(PLR)$$

$$CC = CC_{ref} \cdot f_3(ELWT, OAT)$$

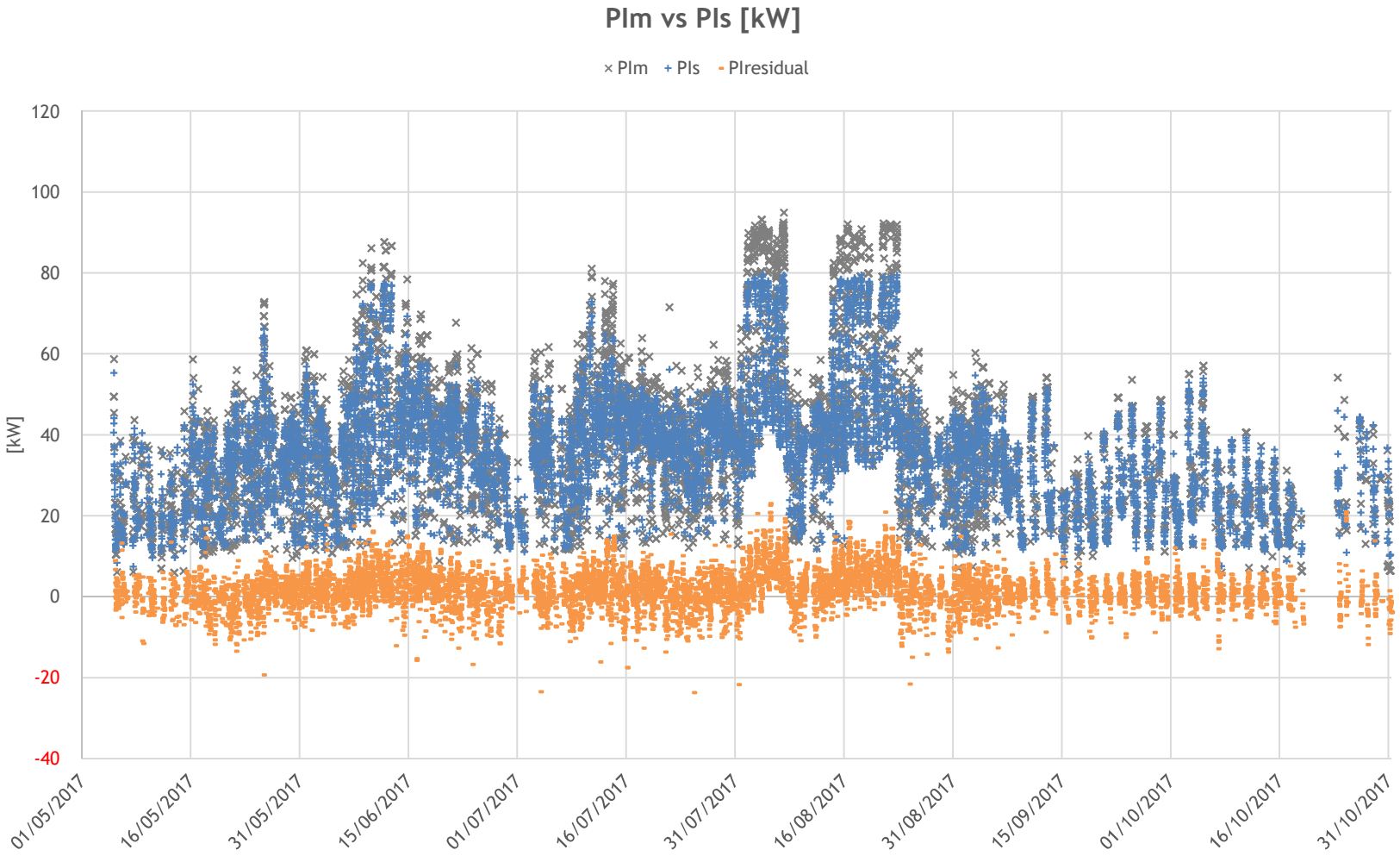
$$\begin{cases} f_1 = \beta_{f1,0} + \beta_{f1,1} \cdot ELWT + \beta_{f1,2} \cdot OAT + \beta_{f1,3} \cdot ELWT^2 + \beta_{f1,4} \cdot OAT^2 + \beta_{f1,5} \cdot OAT \cdot ELWT \\ f_2 = \beta_{f2,0} + \beta_{f2,1} \cdot PLR + \beta_{f2,2} \cdot PLR^2 + \beta_{f2,3} \cdot PLR^3 + \beta_{f2,4} \cdot PLR^4 + \beta_{f2,5} \cdot PLR^5 + \beta_{f2,6} \cdot PLR^6 \\ f_3 = \beta_{f3,0} + \beta_{f3,1} \cdot ELWT + \beta_{f3,2} \cdot OAT + \beta_{f3,3} \cdot ELWT^2 + \beta_{f3,4} \cdot OAT^2 + \beta_{f3,5} \cdot OAT \cdot ELWT \end{cases}$$

- **PLR** (DOE-2.1) the ratio of chiller load (CL) to chiller cooling capacity (CC)

- **$PLR_m$** (DoS) is an estimate of the compressor's partial load ratio based on the control signal sent to manage the compressor's capacity.

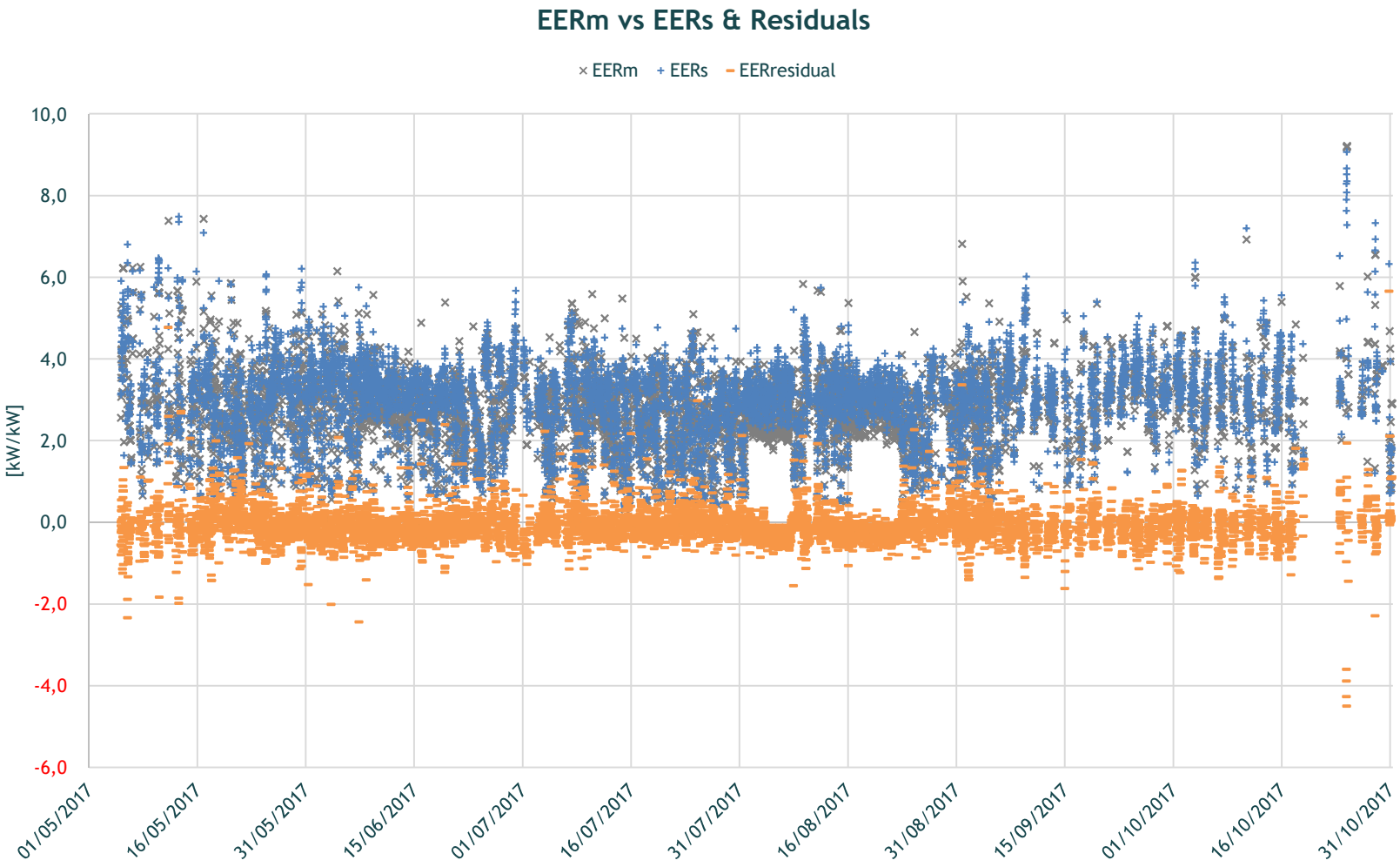
# 3. METHODOLOGY

## 3.3. Chiller simulation f(on-field measurement data)

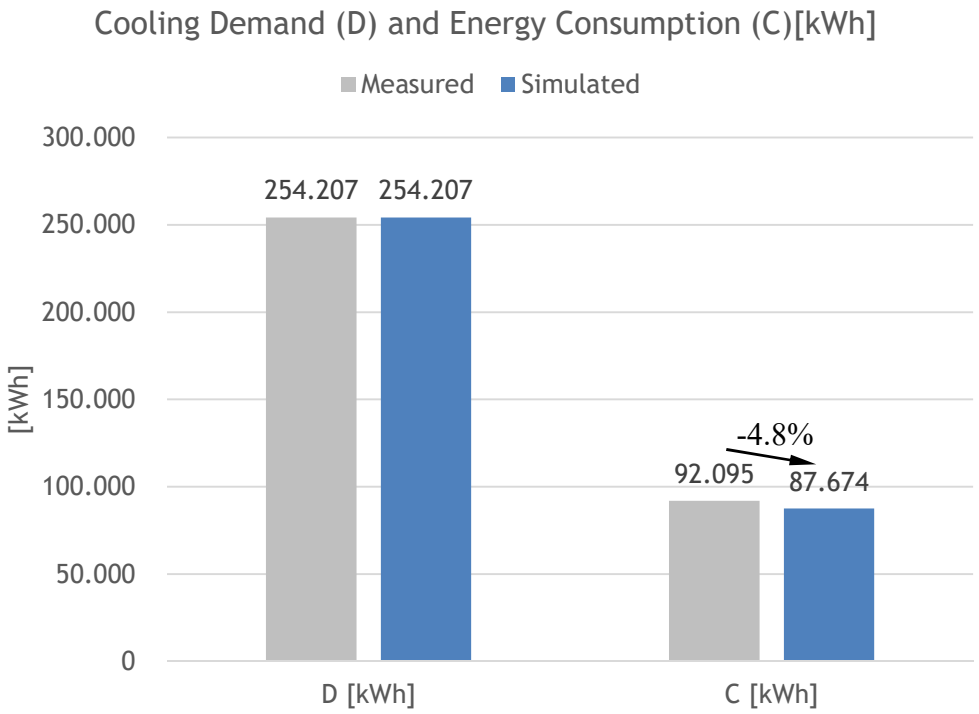


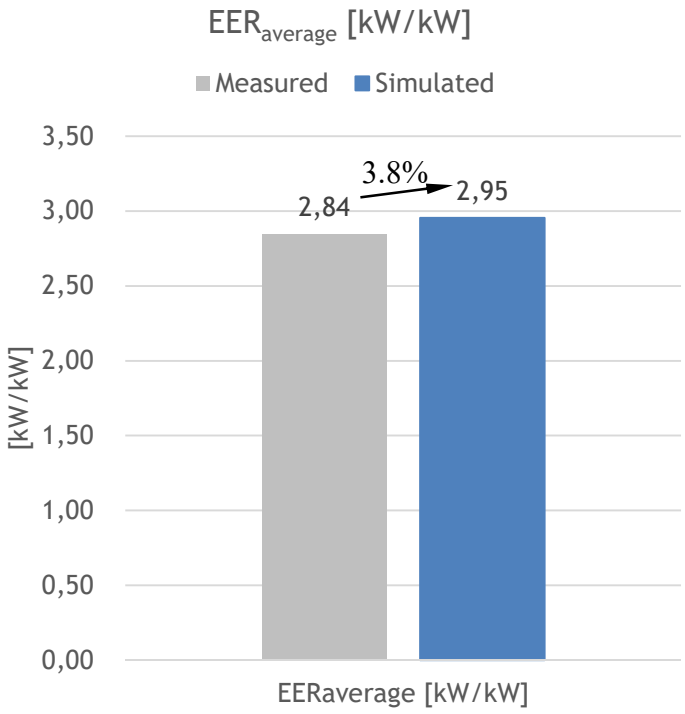
# 3. METHODOLOGY

## 3.3. Chiller simulation f(on-field measurement data)



# 4. RESULTS AND DISCUSSION



# 4. RESULTS AND DISCUSSION

| | DOE-2.1 | ASHRAE Guideline 14 (for 60-minute data) |
|---|---|---|
| CV(RMSE) | 12.6% | <30% |
| NMBE | 4.8% | <10% |

$$CV(RMSE) = \frac{\sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{(n-1)}}}{\bar{y}} \qquad NMBE = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)}{(n-1)\cdot\bar{y}}$$

| PLRm[%] | Cm[kWh] | Cs[kWh] | Cs[%] | Error[%] |
|---|---|---|---|---|
| [100-90) | 16,149 | 14,556 | 17% | -9.9% |
| (80,90] | 20,556 | 18,842 | 21% | -8.3% |
| (70,80] | 22,810 | 21,995 | 25% | -3.6% |
| (60,70] | 17,229 | 17,092 | 19% | -0.8% |
| (50,60] | 7,929 | 8,081 | 9% | 1.9% |
| (40,50] | 5,211 | 5,029 | 6% | -3.5% |
| (30,40] | 2,170 | 2,032 | 2% | -6.3% |
| (20,30] | 38 | 43 | 0% | 14.4% |
| (10,20] | 3 | 4 | 0% | 24.2% |
| Total | 92,095 | 87,674 | 100% | -4.8% |

# 4. RESULTS AND DISCUSSION

- Model presents a good fitness in both cases: PI, EER.
- The residuals are *reasonably* homogeneous, except below $PLR_{min}$
- $PLR < PLR_{min}$ (30%) → cycling (future research)
- We used 15-minute data
  - $PLR_{m(15\text{-}min)}$ is no equivalent to hourly data ($PLR_{m(60\text{-}min)}$)
  - A $PLR_{m(60\text{-}min)}$ frequency distribution would be positively skewed compared to $PLR_{m(15\text{-}min)}$
  - What about results with 1-minute, 30-minute, and 60-minute data (future research)
- On-field vs laboratory measurement

# 5. CONCLUSSIONS

- On-field measurement utilising chiller's on board sensor is not laboratory measurement

- ASHRAE Guidelines 22-2012 → EER uncertainty <5% (Result 3.8%)

- Eurovent's certification (EN 14511) → Tolerances EER=f(PLR)

| Part Load Ratio [%] | 100% | 75% | 50% | 25% |
|---|---|---|---|---|
| Allowed tolerance [%] | 5% | 6% | 8% | 14% |

- ASHRAE Guideline 14-2014 → for 60-minute data (we have 15-minute data)
  - CV(RMSE) <30% (Result 12.6%)
  - NMBE <10% (Result 4.8%)

- In this case, utilising **manufacturer's data** to estimate the **energy consumption** and **energy performance** led us to acceptable results.

## 5. CONCLUSSIONS

Limitations of this work:

- Only 1 chiller, 1 technology (screw, VSD) → no generalisation
- On-field measurement is not laboratory measurement → not steady conditions
- On-board sensors are not laboratory instruments → precision, accuracy, calibration.

**+Rafael Pérez Cortines**
Daikin Europe NV
✆ +34 685 684 368
✉ perezcortines.r@daikin.es

# THANK YOU FOR YOUR ATTENTION!

# ADDENDUM

Dashboards

Remote controller access

intelligent Chiller Manager (iCM)

DAIKIN ON SITE

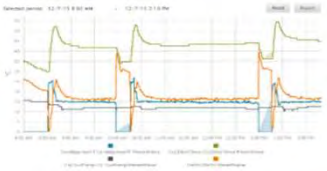
via LAN
or GSM modem

Real-time access to over 500 data points on chiller

www.daikinonsite.com

Remote reporting

Remote Diagnostics



Remote software upgrade

# Energy performance measurement of an air-cooled chiller: on-field vs manufacturer's data

**R. Pérez Cortines**[1]

1 Daikin Europe NV. Chaussée de Mons, 1424. 1070. Bruselas (Bélgica) perezcortines.r@daikin.es

**Resumen:** Es práctica común en proyectos de eficiencia energética realizar estimaciones de consumo energético de equipos HVAC utilizando los datos publicados por los fabricantes de los mismos. Esto es necesario debido a que no se puede disponer de medidas de los equipos en condiciones de funcionamiento para una instalación específica durante la fase pre-retrofit. Siendo la producción de agua enfriada uno de los principales vectores dentro del consumo energético de los edificios, y por lo tanto motivo de preocupación de empresas de servicios energéticos, propiedades y operadores de éstos; es crucial conocer la incertidumbre de la estimación del consumo energético debido a su impacto en los indicadores económico-financieros del proyecto. Mediante el análisis de un caso de estudio de una enfriadora medida con los sensores por defecto del equipo en una instalación de un edificio terciario, el presente trabajo tiene como objetivos: (1) medir el consumo y el rendimiento energético del equipo utilizando los sensores por defecto del mismo (2) analizar la diferencia entre esta medida y la estimación mediante simulación energética utilizando los datos del fabricante, (3) caracterizar el error en función de las principales variables responsables del consumo y del rendimiento.

**Palabras clave:** eficiencia energética enfriadora, medición en campo, simulación energética, datos fabricante, M&V enfriadoras

**Abstract:** It is commonly used in energy efficiency projects to carry out energy consumption estimates of HVAC equipment utilising published manufacturer's data. This is mandatory due to it is not plausible to have measured data in operating conditions for a specific site during the pre-retrofit phase. Being chilled water production one of the most representative energy drivers in a building, and thus subject of attention for energy services companies, building operators, and owners; it is imperative to know how accurate the energy consumption estimate is due to its impact on the financial performance indicator of the project. By the means of a case study, the objective of this work is threefold (1) measure the energy consumption and the energy performance by using the chiller's onboard sensors (2) analyse the difference between this measurement and the energy simulation using the manufacturer's data, (3) characterise the error depending on the main energy consumption and performance drivers.

**Keywords:** energy efficiency chillers, on-field measurement, energy simulation, manufacturer's data, M&V chillers.

## 1. INTRODUCTION

In energy efficiency projects where chillers are involved, it is commonly required to estimate their energy consumption, for which it is instrumental to simulate their performance by using a model. Such a model is usually based on manufacturer's data since it is not plausible to have on-field measurement during a pre-retrofit phase at a specific site. Being chilled water production one of the most representative energy drivers in a building, and thus subject of attention for energy services companies, building operators, and owners; it is imperative to know how accurate the energy consumption estimate is due to its impact on the financial performance indicator of the project.

By the means of a case study, the objective of this work is threefold (1) measure the energy consumption and the energy performance of a chiller by using the equipment's onboard sensors (2) analyse the difference between this measurement and the energy simulation using manufacturer's data, (3) characterise the error depending on the main energy consumption and performance drivers.

The building, whose chiller is the subject of this study, is located in Madrid (Spain). It is an urban 4* hotel, with approximately 200 rooms distributed in 8 floors with the corresponding usual services: restaurant, lobby bar and meeting rooms. The HVAC system at the hotel is composed of 2 air-cooled screw chillers, 2 boilers, fan coil units (FCU), air handling units, and radiators. Chilled

and hot water production are independent, and while some air handling units are 4-pipe type, others and the FCUs are 2-pipe kinds. Table I shows the main information on the chillers.

**Table I** *Main descriptive information of the chillers*

| | |
|---|---|
| Manufacturer | Daikin |
| Model | EWAD205TZSR |
| Nominal Cooling Capacity | 205 [kW] |
| EER[1] | 2.86 [kW/kW] |
| SEER[2] | 4.35 [kW/kW] |
| Evaporator Leaving Water Temperature (ELWT) Setpoint | 7.0 [ºC] |
| Refrigerant | R134a |
| Manufacturing Year | 2015 |
| Compressor technology | Screw |
| Capacity control | Variable Speed Drive (VSD) |

Moreover, Figure 1 shows a simplified piping layout of the chilled water production, a primary-secondary system, being both -the primary and the secondary- loops constant flow. The chillers work in parallel with dedicated primary pumps per chiller following the schedule described in Table II; notwithstanding, this schedule is subjected to change depending on weather conditions.

**Table II** *Cooling season, availability and schedule*

| Month | Availability | Schedule |
|---|---|---|
| January-February – March | Upon request | Upon request |
| April – May | 7 days per week | 11h00 – 24h00 |
| June – July – August – September | 7 days per week | 00h00 – 24h00 |
| October | 7 days per week | 11h00 – 24h00 |
| November – December | Upon request | Upon request |

**Table III** *Nomenclature*

| Acronym | Description | Unit |
|---|---|---|
| OAT | Outdoor air temperature | [ºC] |
| EEWT | Evaporator entering water temperature | [ºC] |
| ELWT | Evaporator leaving water temperature | [ºC] |
| CC | Cooling capacity | [kW] |
| $CC_{ref}$ | Rated cooling capacity at nominal conditions | [kW] |
| PI | Power input | [kW] |
| $PI_{ref}$ | Rated power input at nominal conditions | [kW] |
| EER | Energy efficiency ratio | [kW/kW] |
| PLR | Partial load ratio | [%] |
| $PLR_m$ | Partial load ratio on-field measured | [%] |
| V | Water flow rate | [l/s] |
| DP | Water side evaporator pressure drop | [kPa] |

[1] Eurovent Standard Conditions for Liquid Chilling Packages: Evaporator Entering Water Temperature: 12 [ºC]; Evaporator Leaving Water Temperature: 7 [ºC]; Condenser Entering Air Dry Bulb Temperature: 35 [ºC]
[2] SEER declared according to EN1825, fan coil application 12/7°C (inlet/outlet) water temperatures. Sound power level according to ISO 9614-1

| | | |
|---|---|---|
| DT | Delta water temperature throughout the evaporator | [ºC] |
| $CL_m$ | Cooling load over the chiller on-field measurement | [kW] |
| Online | Connection status of the unit controller with DoS | [0-Offline, 1-Online] |
| FS | Status of the chiller's water flow switch | [0-No flow, 1-Flow] |
| $C_m$ | Energy consumption on-field measurement | [kWh] |
| $C_s$ | Energy consumption simulated | [kWh] |
| $D_m$ | Cooling demand on-field measurement | [kWh] |
| $m_w$ | Water mass rate | [kg⁄s] |
| $c_p$ | Specific heat at constant pressure | [kJ/(kg·K)] |
| r | Water density | [kg/m$^3$] |
| $P_{comp}$ | Compressors electrical power | [kW] |
| $P_{cond}$ | Auxiliary system of condensation electrical power | [kW] |
| $P_{elec}$ | Electronic devices electrical power | [kW] |
| PIm | Power input measured | [kW] |
| PIs | Power input simulated | [kW] |
| CV(RMSE) | Coefficient of variation of the root-mean-square error | [%] |
| NMBE | Normalized mean bias error (NMBE) | [%] |

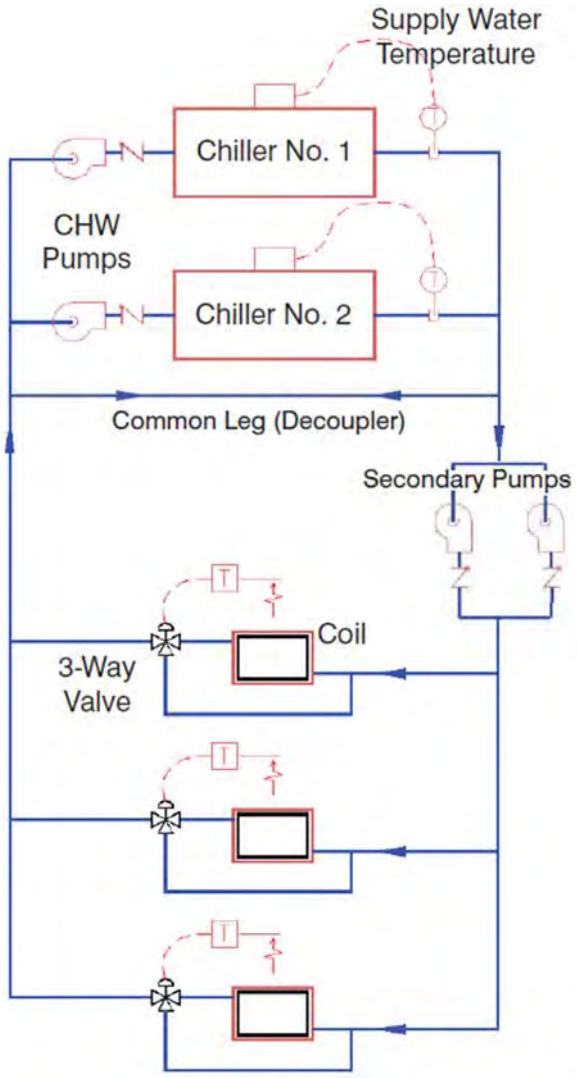



**Figure 1** *Simplified piping layout of the chilled water installation*

## 2. DATA

There are 2 different data sources (1) manufacturer's data, and (2) on-field measurement. We obtained the first one via Chiller Selection Software (CSS)[3], the manufacturer's chiller selection software; and the second one via Daikin on Site (DoS)[4], the manufacturer's remote control and monitoring web service. We used the manufacturer's data to develop the chiller's model to compare it with on-field measurement, and on-field measurement to validate the model. Table IV describes the manufacturer's data used, and Table V describes the on-field measurements.

**Table IV** *Manufacturer's data from CSS for model development*

| | OAT [°C] | EEWT [°C] | ELWT [°C] | CC [kW] | PI [kW] | EER [kW/kW] | PLR [%] | V [l/s] | DP kPa] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mean | 25.0 | 15.0 | 10.0 | 121.9 | 27.7 | 5.2 | 55.1 | 10.6 | 28.2 |
| Median | 25.0 | 15.0 | 10.0 | 121.4 | 22.6 | 4.7 | 60.0 | 10.6 | 27.9 |
| Mode | 35.0 | 12.0 | 7.0 | 20.9 | 6.0 | 3.2 | 100.0 | 10.5 | 25.4 |
| Range | 40.0 | 10.0 | 10.0 | 244.6 | 84.1 | 8.6 | 90.0 | 4.8 | 21.9 |
| Minimum | 5.0 | 10.0 | 5.0 | 16.3 | 3.1 | 1.8 | 10.0 | 7.9 | 16.4 |
| Maximum | 45.0 | 20.0 | 15.0 | 260.8 | 87.2 | 10.4 | 100.0 | 12.7 | 38.3 |
| Count | 4501 | 4501 | 4501 | 4501 | 4501 | 4501 | 4501 | 4501 | 4501 |

**Table V** *On-field measurement (after filtering) from DoS for model validation*

| | Time [mmm dd yyyy hh:mm] | Online [0,1] | FS [0,1] | OAT [ºC] | DP [kPa] | EEWT [ºC] | ELWT [ºC] | DT [ºC] | $PLR_m$ [%] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mean | - | 1.0 | 1.0 | 28.8 | 24.2 | 10.2 | 7.6 | 2.6 | 0.6 |
| Median | - | 1.0 | 1.0 | 28.4 | 24.2 | 10.0 | 7.1 | 2.6 | 0.6 |
| Mode | - | 1.0 | 1.0 | 26.7 | 24.3 | 9.8 | 7.0 | 2.9 | 1.0 |
| Range | 183 days | 1.0 | 1.0 | 33.5 | 2.0 | 18.0 | 18.5 | 5.8 | 0.9 |
| Minimum | May 1st 2017 00h00 | 0.0 | 0.0 | 11.8 | 23.0 | 7.3 | 6.2 | 0.5 | 0.1 |
| Maximum | October 31st 2017 24h00 | 1.0 | 1.0 | 45.3 | 25.0 | 25.4 | 24.8 | 6.3 | 1.0 |
| Count | 9610 | 9610 | 9610 | 9610 | 9610 | 9610 | 9610 | 9610 | 9610 |

As aforementioned, the chillers are connected to the manufacturer's remote control and monitoring web service, called Daikin on Site (DoS), thus having access to all parameters available at the unit control level. Data is collected following Change of Value (CoV) logic where a device monitors the value of an object property and send a notification when the change criteria are met. This method can provide high accuracy, but also delivers data with different timestamps due to the changes occur at different times for different variables, thus having the need for aligning the time stamp of the observations.

The collected data comprises the whole cooling season, from May 1st to October 31st 2017, with a sample interval of 15 minutes. Table VI provides an excerpt of the on-field measurement data, and Table VII a description of the filtering strategy. It is worth mentioning that although only 54% of the sample data qualified after applying the filtering strategy, we just lost 5% of the energy consumption after removing non-online observations. We chose a 15-minute sample interval in

[3] http://tools.daikinapplied.eu
[4] https://www.daikinonsite.com

aiming to achieve a reasonable compromise between stability and representativity of the data. Whereas a 1-minute data would have provided more detailed information, it would have been biased by the system inertia. On the other hand, 1-hour data would have provided more stable data, but we would have lost too many observations after applying the filtering strategy.

**Table VI** *On-field measurement data sample excerpt*

| UTC Time | Online [0,1] | FS [0,1] | EEWT [°C] | ELWT [°C] | OAT [°C] | $PLR_m$ [%] | DP [kPa] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 05/05/2017 12:30 | 1.0 | 1.0 | 25.7 | 25.8 | 25.1 | 43.0 | 23.8 |
| 05/05/2017 12:45 | 1.0 | 1.0 | 23.0 | 19.8 | 27.1 | 75.0 | 23.9 |
| 05/05/2017 13:00 | 1.0 | 1.0 | 17.8 | 11.6 | 27.9 | 75.0 | 24.1 |
| 05/05/2017 13:15 | 1.0 | 1.0 | 13.4 | 7.8 | 27.9 | 92.8 | 24.4 |
| 05/05/2017 13:30 | 1.0 | 1.0 | 11.1 | 7.8 | 28.3 | 78.6 | 24.4 |
| 05/05/2017 13:45 | 1.0 | 1.0 | 10.2 | 7.0 | 26.6 | 68.3 | 24.5 |
| 05/05/2017 14:00 | 1.0 | 1.0 | 10.8 | 7.0 | 24.4 | 71.8 | 24.5 |
| … | … | … | … | … | … | … | … |

**Table VII** *Filtering strategy*

| Log | Action | Sample Size [#] | Sample Size [%] | $C_m$ [kWh] | $C_m$ [%] |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | Whole sample | 17,664 | 100% | 118,611 | 100% |
| 1 | Remove Data Online ≤ 1 | 14,623 | 83% | 97,863 | 83% |
| 2 | Remove flow status ≤ 1 | 14,576 | 83% | 97,669 | 82% |
| 3 | Remove data PI<1 | 10,665 | 60% | 97,592 | 82% |
| 4 | Remove PLR=0 | 10,538 | 60% | 97,185 | 82% |
| 5 | Remove DT≤0.5 | 9,612 | 54% | 92,108 | 78% |
| 6 | Outliers D>>> | 9,610 | 54% | 92,095 | 78% |

## 3. METHODOLOGY

To assess the accuracy of manufacturer's data for estimating the energy consumption and the energy performance of a chiller, we need to (1) calculate the cooling load and the energy performance of the chiller based on on-field measurement, (2) develop a chiller's model based on manufacturer's data, (3) simulate the chiller under on-field measurement data (4) compare the results and characterise the residuals.

### 3.1. Cooling load and energy performance calculation based on on-field measurement

To conduct the calculations, we followed ASHRAE Guidelines 22-2012 Instrumentation for Monitoring Central Chilled-Water Plant Efficiency (Arnold et al., 2012).

For an electric-motor-driven chiller, Net Total Cooling Load (CL) is the standard heat transfer equation for all chilled-water solutions under steady-state conditions:

**Equation 1**

$$\mathrm{CL[kW]} = \mathrm{m_w[kg/s]} \cdot \mathrm{c_p[kJ/(kg \cdot K)]} \cdot \Delta\mathrm{T[°C]}$$

The Effective Power Input (PI) is the sum of all electrical energy inputs to the chiller:

**Equation 2**

$$\mathrm{PI[kW]} = \mathrm{P_{comp}[kW]} + \mathrm{P_{cond}[kW]} + \mathrm{P_{elec}[kW]}$$

The term EER is a dimensionless ratio consisting of the Net Total Cooling Load (CL), divided by the Effective Power Input (PI), at any given set of rating conditions, in kW per kW. The equation for EER for a chiller is therefore expressed as follows:

**Equation 3**

$$\mathrm{EER[kW/kW]} = \frac{\mathrm{CC[kW]}}{\mathrm{PI[kW]}} = \frac{\mathrm{m_w[kg/s]} \cdot \mathrm{c_p[kJ/(kg \cdot K)]} \cdot \Delta\mathrm{T[°C]}}{\mathrm{PI[kW]}}$$

The determination of Water Mass Flow Rate ($m_w$) utilising standard water is based on Water Volumetric Flow Rate (V), Water Density (r):

**Equation 4**

$$\mathrm{m_w[kg/s]} = \mathrm{w[l/s]} \cdot \rho_{\mathrm{water}}[\mathrm{kg}/m^3]$$

For the determination of Water Density and the Specific Heat at Constant Pressure, we followed the formulation described in ANSI/ASHRAE Standard 184-2016 Method of Test for Field Performance of Liquid-Chilling Systems[5] (Vucci et al., 2016):

**Equation 5**

$$\rho = \rho_4 \cdot \mathrm{T}^4 + \rho_3 \cdot \mathrm{T}^3 + \rho_2 \cdot \mathrm{T}^2 + \rho_1 \cdot \mathrm{T} + \rho_0$$

**Equation 6**

$$\mathrm{c_p} = \mathrm{c_{p5}} \cdot \mathrm{T}^5 + \mathrm{c_{p4}} \cdot \mathrm{T}^4 + \mathrm{c_{p3}} \cdot \mathrm{T}^3 + \mathrm{c_{p2}} \cdot \mathrm{T}^2 + \mathrm{c_{p1}} \cdot \mathrm{T} + \mathrm{c_{p0}}$$

**Table VIII** *Coefficients for Density and Specific Heat Equations*

| **[kg/m$^3$]** | | **$\rho_4$** | **$\rho_3$** | **$\rho_2$** | **$\rho_1$** | **$\rho_0$** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ρ** | | -1.25560E-10 | 4.02290E-05 | -7.39480E-03 | 4.67340E-02 | 1.00020E+03 |
| | | | | | | |
| **[kg/kg.K]** | **$c_{p5}$** | **$c_{p4}$** | **$c_{p3}$** | **$c_{p2}$** | **$c_{p1}$** | **$c_{p0}$** |
| $c_p$ | -3.22200E-13 | 1.07700E-08 | -1.39010E-06 | 9.44330E-05 | -3.11030E-03 | 4.21600E+00 |

We define *T* as the average of Evaporator Entering and Leaving Water Temperatures (EEWT, ELWT)

To determine the actual volumetric water flow rate throughout the evaporator, we use a differential pressure sensor installed on the water side of the chiller's evaporator; and thus applying the relationship between the pressure drop and the volumetric water flow rate. In this sense, it is instrumental to obtain the appropriate manufacturer's evaporator pressure drop curve as shown in Figure 2.

[5] Note: Density and specific heat polynomial equations are curve fit from data generated by NIST REFPROP 9.12 at 100 psia (689.5 kPa) and using a temperature range of 32°F to 212°°F (0 °C to 100 °C). The 100 psia value used for the water property curve fits was established as a representative value to allow for the calculation of water-side properties as a function of temperature only.

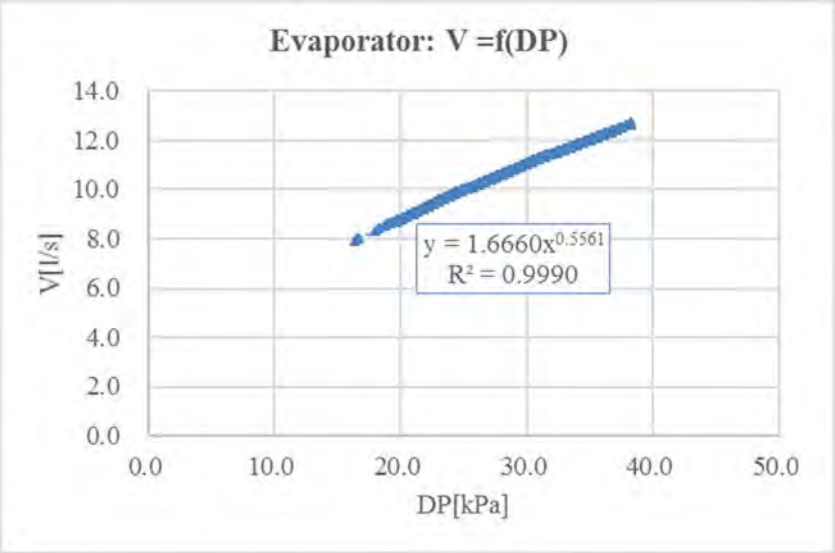



**Figure 2** *Volumetric water flow rate f(Evaporator pressure drop) curve for EWAD205TZSR*

### 3.2. Chiller's model development based on manufacturer's data

We rely on the standard DOE-2.1 simulation model (York & Tucker, 1980) to develop the chiller's model based on manufacture's data:

**Equation 7**

$$\mathrm{PI} = \mathrm{PI}_{\mathrm{ref}} \cdot \mathrm{f}_1(\mathrm{ELWT}, \mathrm{OAT}) \cdot \mathrm{f}_2(\mathrm{PLR})$$

**Equation 8**

$$\mathrm{CC} = \mathrm{CC}_{\mathrm{ref}} \cdot \mathrm{f}_3(\mathrm{ELWT}, \mathrm{OAT})$$

**Equation 9**

$$\mathrm{f}_1 = \beta_{\mathrm{f1,0}} + \beta_{\mathrm{f1,1}} \cdot \mathrm{ELWT} + \beta_{\mathrm{f1,2}} \cdot \mathrm{OAT} + \beta_{\mathrm{f1,3}} \cdot \mathrm{ELWT}^2 + \beta_{\mathrm{f1,4}} \cdot \mathrm{OAT}^2 + \beta_{\mathrm{f1,5}} \cdot \mathrm{OAT} \cdot \mathrm{ELWT}$$

**Equation 10**

$$\mathrm{f}_2 = \beta_{\mathrm{f2,0}} + \beta_{\mathrm{f2,1}} \cdot \mathrm{PLR} + \beta_{\mathrm{f2,2}} \cdot \mathrm{PLR}^2 + \beta_{\mathrm{f2,3}} \cdot \mathrm{PLR}^3 + \beta_{\mathrm{f2,4}} \cdot \mathrm{PLR}^4 + \beta_{\mathrm{f2,5}} \cdot \mathrm{PLR}^5 + \beta_{\mathrm{f2,6}} \cdot \mathrm{PLR}^6$$

**Equation 11**

$$\mathrm{f}_3 = \beta_{\mathrm{f3,0}} + \beta_{\mathrm{f3,1}} \cdot \mathrm{ELWT} + \beta_{\mathrm{f3,2}} \cdot \mathrm{OAT} + \beta_{\mathrm{f3,3}} \cdot \mathrm{ELWT}^2 + \beta_{\mathrm{f3,4}} \cdot \mathrm{OAT}^2 + \beta_{\mathrm{f3,5}} \cdot \mathrm{OAT} \cdot \mathrm{ELWT}$$

Where

- $f_1$ (referred to as CAPFT in DOE2) corrects chiller capacity as a function of operating temperatures (ELWT, OAT);
- $f_2$ (referred to as EIRFT in DOE2) corrects electric input ratio (EIR, the ratio of PI to CC) as a function of operating temperatures, and;
- $f_3$ (referred to as EIRFPLR in DOE2) adjusts EIR as a function of part load ratio, defined as the ratio of chiller load (CL) to chiller cooling capacity (CC)

as summarised in Development of an Energy Saving Estimation Tool (ESET) (Pérez-Lombard & Coronel, 2018)

**Table IX summarises the coefficients of the regression models for functions $f_1$, $f_2$, $f_3$, and Appendix 7.1 the complete summary output of the models in Table XIII,**
Table XIV, and Table XV.

**Table IX** *OLS regression coefficients for $f_1$, $f_2$, $f_3$.*

| | $\beta_0$ | $\beta_1$ | $\beta_2$ | $\beta_3$ | $\beta_4$ | $\beta_5$ | $\beta_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $f_1$ | 0.12563899 | 0.03900355 | -0.00087748 | 0.02604741 | -0.00009359 | -0.00058791 | |
| $f_2$ | -0.13552 | 3.98245 | -21.82498 | 64.01881 | -89.98579 | 59.46806 | -14.52177 |
| $f_3$ | 0.68235844 | 0.04269953 | -0.00059135 | 0.01015363 | -0.00018222 | -0.00035395 | |

Whereas PLR is defined in DOE-2.1 model as the ratio of chiller load (CL) to chiller cooling capacity (CC), data point $PLR_m$ is an estimate of the compressor's partial load ratio based on the control signal sent to manage the sliding valve and subsequently the compressor's capacity. Although they may slightly differ from each other conceptually speaking, we consider it as a reasonable proxy for this purpose.

### 3.3. On-field measurement vs manufacturer's data comparison

Once the models are developed, we computed for the sample period Power Input Simulated (PIs) using the on-field measurement of independent variables (ELWT, OAT, PLR) and computed Energy Efficiency Ratio Simulated (EERs) as the ratio between Cooling Load Measured (CLm) and Power Input Simulated (PIs). In Figure 3 and Figure 4 we appreciate graphically the fitness of the model and the residuals.

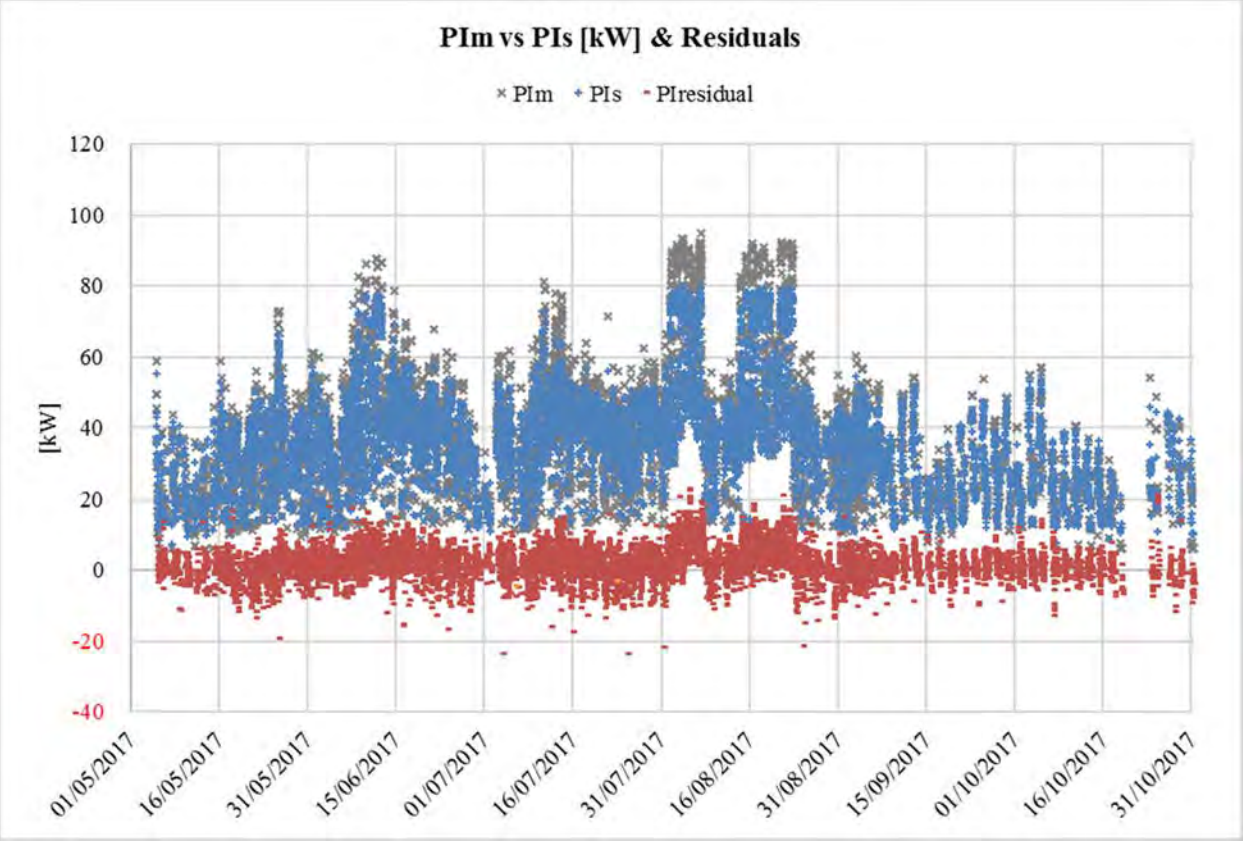



**Figure 3** *Power Input Measured ($PI_m$) vs Power Input Simulated ($PI_s$) & Residuals*

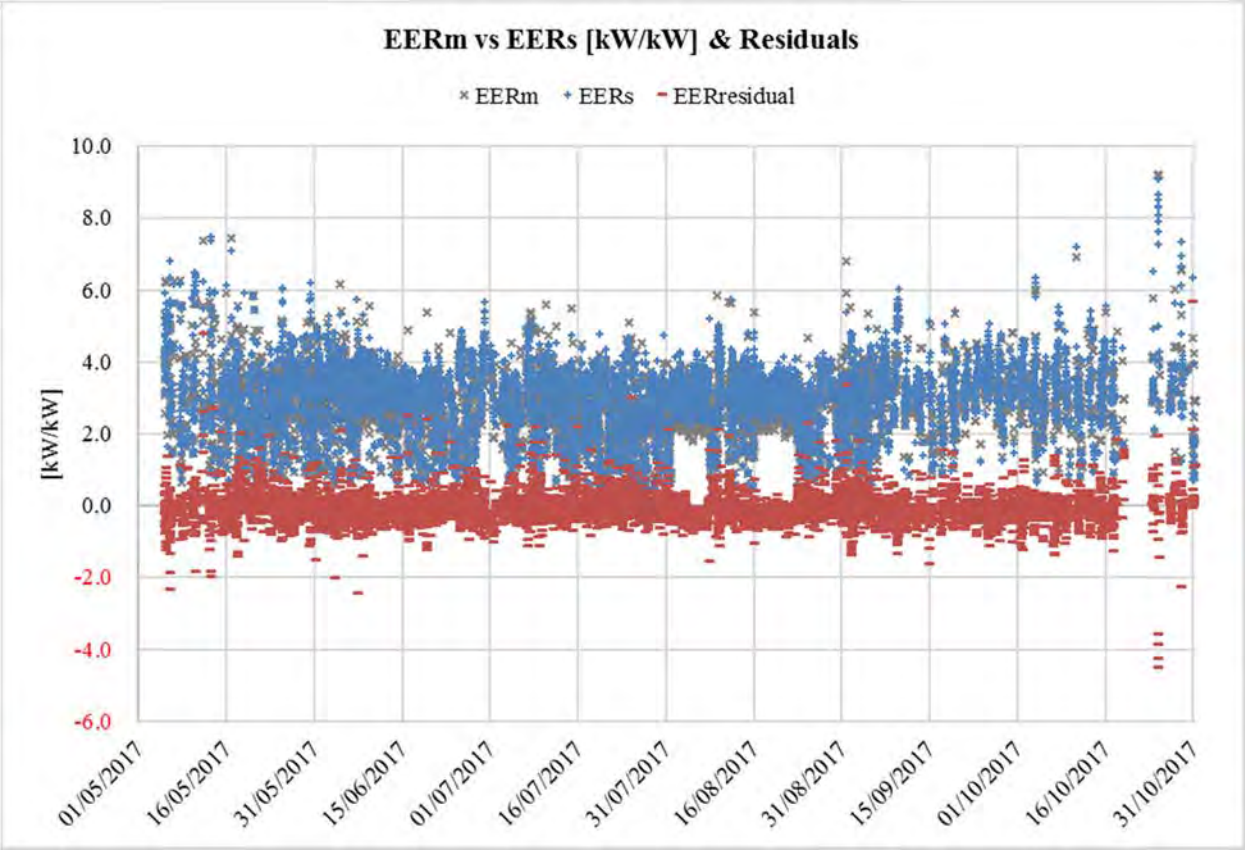



**Figure 4** *Energy Efficiency Ratio Measured ($EER_m$) vs Energy Efficiency Ratio Simulated ($EER_s$)*

## 4. RESULTS AND DISCUSSION

The graphical exploratory analysis shows that the model seems to present a good fitness in both cases, for PI and for EER. Furthermore, the residuals appear to be rather homogeneous.

An analytical analysis uncovers that the integrated error throughout the whole cooling season (sample period of study) related to Energy Consumption ($C_m$-$C_s$) is -4.8%, and to Energy Efficiency Ratio ($\overline{EER_s} - \overline{EER_m}$) is 3.8%; meaning that the model estimated such percentage below and above -respectively- the actual measurement.

Furthermore, Table X characterises the error based on the Partial Load Ratio Measured ($PLR_m$), where we observe that the error is higher in the rage of (80,100]% and (30,40]%. It is worth noting that since we used 15-minute data, $PLR_{m(15\text{-}min)}$ is no equivalent to hourly data ($PLR_{m(60\text{-}min)}$). A $PLR_{m(60\text{-}min)}$ frequency distribution would be positively skewed compared to $PLR_{m(15\text{-}min)}$. As a future research avenue, we suggest deepening the impact of the results by considering additional different time interval, e.g.: 1-minute, 30-minute, and 60-minute data.

Figure 7, Figure 8, Figure 9, and Figure 10 in Appendix 7.2 plot the residuals as a function of the main energy drivers: $PLR_m$, OAT, ELWT, and DT respectively. Although with certain limitations, we consider the residuals acceptable for the conclusion of this study.

**Table X** *Error characterisation f(PLR)*

| PLRm[%] | Cm[kWh] | Cs[kWh] | Cs[%] | Error[%] |
|---|---|---|---|---|
| [100-90) | 16,149 | 14,556 | 17% | -9.9% |
| (80,90] | 20,556 | 18,842 | 21% | -8.3% |
| (70,80] | 22,810 | 21,995 | 25% | -3.6% |
| (60,70] | 17,229 | 17,092 | 19% | -0.8% |
| (50,60] | 7,929 | 8,081 | 9% | 1.9% |
| (40,50] | 5,211 | 5,029 | 6% | -3.5% |
| (30,40] | 2,170 | 2,032 | 2% | -6.3% |
| (20,30] | 38 | 43 | 0% | 14.4% |
| (10,20] | 3 | 4 | 0% | 24.2% |
| **Total** | 92,095 | 87,674 | 100% | -4.8% |

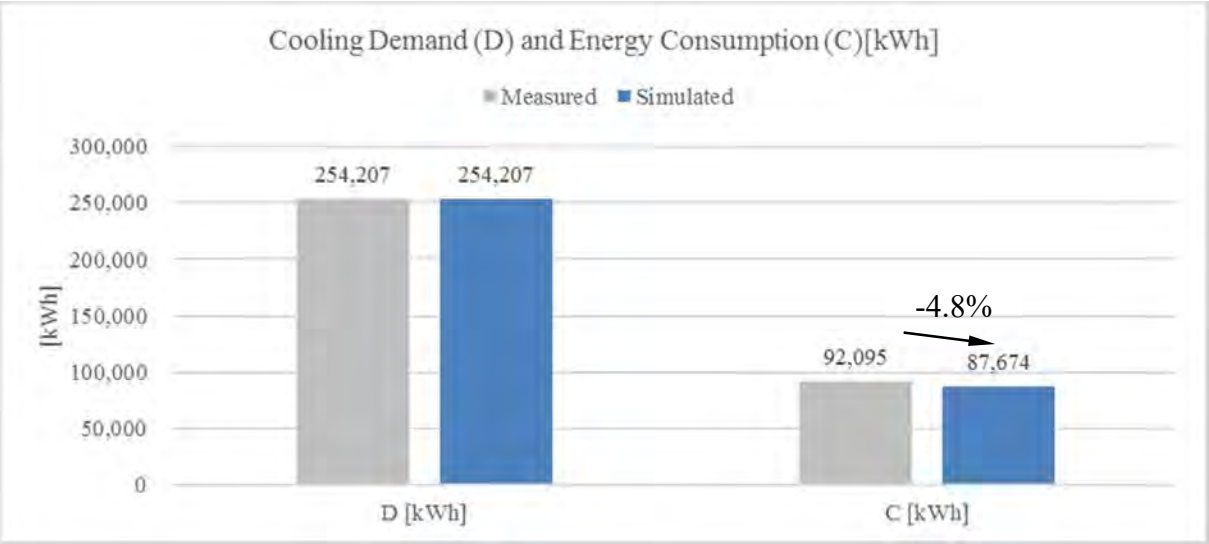



**Figure 5** *Cooling Demand (D) and Energy Consumption (C)[kWh]*

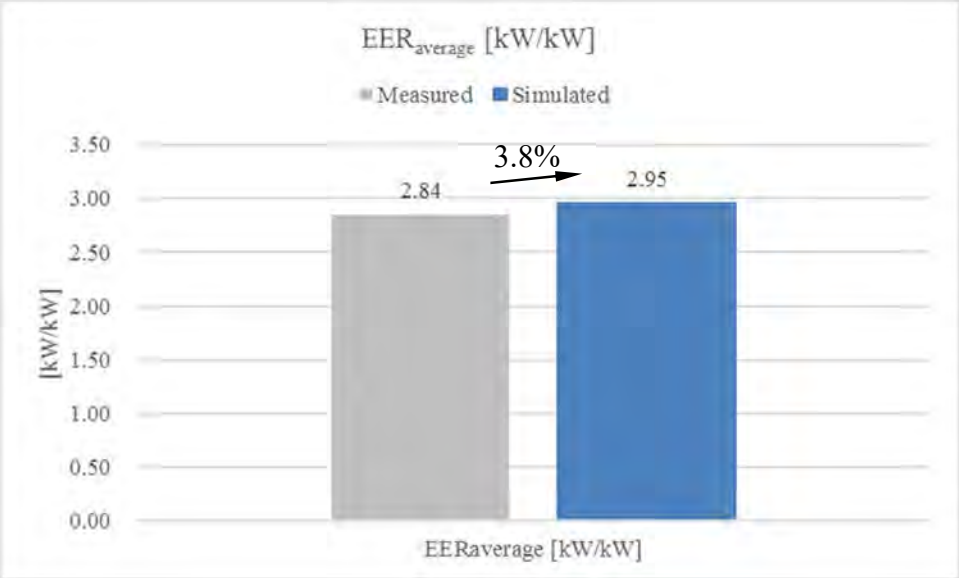



**Figure 6** *$EER_{average}$ [kW/kW]*

Following ASHRAE Guideline 14-2014 Measurement of Energy, Demand, and Water Saving (Landsberg et al., 2014) to assess how well a mathematical model describes the variability in measured data, we use the recommended indexes whose results in our case are shown in Table XI.

**Equation 12**

$$CV(RMSE) = \frac{\sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{(n-p)}}}{\bar{y}}$$

**Equation 13**

$$NMBE = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)}{(n-p) \cdot \bar{y}}$$

**Table XI** *Modelling Uncertainty*

| | DOE-2.1 | ASHRAE Guideline 14 |
|---|---|---|
| CV(RMSE) | 12.6% | <30% |
| NMBE | 4.8% | <10% |

## 5. CONCLUSIONS

Since (1) ASHRAE Guidelines 22-2012 Instrumentation for Monitoring Central Chilled-Water Plant Efficiency (Arnold et al., 2012) recommends an uncertainty of measurement <5% when measuring the energy performance of a chilled-water plant; (2) Eurovent's certification programme according to EN 14511 for Liquid Chilling Packages allows certain tolerances depending of the partial load ratio as shown in Table XII, and (3) ASHRAE Guideline 14-2014 Measurement of Energy, Demand, and Water Saving (Landsberg et al., 2014) specify CV(RMSE) <30% and NMBE <10% for hourly data (we have 15-minute data), we are confident to consider that, in this case, to utilise manufacturer's data in order to estimate the energy consumption and energy performance of the chiller subject of study leads us to acceptable results.

**Table XII** *Eurovent's tolerances for EER and CC*

| Part Load Ratio [%] | Allowed tolerance [%] | Unit minimum performance vs catalogue [%] |
|---|---|---|
| 100% | 5% | Min capacity = 95% |
| | | Min efficiency = 95% |
| 75% | 6% | Min efficiency = 94% |
| 50% | 8% | Min efficiency = 92% |
| 25% | 14% | Min efficiency = 86% |

## 6. ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to thank Daikin Spain, SA. (DACS), Daikin Europe NV (DENV) and Daikin Applied Europe, S.p.A. (DAE) for providing the on-field measurement, the manufacturer's data and the site information; and to Dr. Luis Pérez-Lombard and Dr. Juan F. Coronel from the Energy Engineering Department of the University of Seville (Spain) for their continuous guidance and support.

# 7. APPENDIX

## 7.1. OLS regression models of the manufacturer's data

**Table XIII** *$f_1$ regression model*

| **SUMMARY OUTPUT** | **PI/PI,ref = f1 (ELWT,OAT)** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Regression Statistics | | | | | | |
| Multiple R | 0.95901330 | | | | | |
| R Square | 0.91970651 | | | | | |
| Adjusted R Square | 0.91880636 | | | | | |
| Standard Error | 0.05541114 | | | | | |
| Observations | 452 | | | | | |
| | | | | | | |
| **ANOVA** | **df** | **SS** | **MS** | **F** | **Significance F** | |
| Regression | 5 | 15.68548584 | 3.137097169 | 1021.724435 | 1.2357E-241 | |
| Residual | 446 | 1.369395983 | 0.003070395 | | | |
| Total | 451 | 17.05488183 | | | | |
| | | | | | | |
| | **Coefficients** | **Standard Error** | **t Stat** | **P-value** | **Lower 95%** | **Upper 95%** |
| Intercept | 0.12563899 | 0.03490047 | 3.59992217 | 0.00035403 | 0.05704919 | 0.19422879 |
| ELWT | 0.03900355 | 0.00621523 | 6.27547767 | 0.00000000 | 0.02678877 | 0.05121833 |
| ELWT^2 | -0.00087748 | 0.00029543 | -2.97017496 | 0.00313695 | -0.00145809 | -0.00029687 |
| OAT | 0.02604741 | 0.00127269 | 20.46637629 | 0.00000000 | 0.02354619 | 0.02854862 |
| OAT^2 | -0.00009359 | 0.00002085 | -4.48784178 | 0.00000917 | -0.00013457 | -0.00005260 |
| ELWT*OAT | -0.00058791 | 0.00006968 | -8.43665984 | 0.00000000 | -0.00072486 | -0.00045095 |

**Table XIV** *$f_2$ regression model*

| **SUMMARY OUTPUT** | **PI/PI,ref = f2(PLR)** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Regression Statistics | | | | | | |
| Multiple R | 0.999651 | | | | | |
| R Square | 0.999301 | | | | | |
| Adjusted R Square | 0.997904 | | | | | |
| Standard Error | 0.013340 | | | | | |
| Observations | 10 | | | | | |
| | | | | | | |
| **ANOVA** | **df** | **SS** | **MS** | **F** | **Significance F** | |
| Regression | 6 | 0.763770549 | 0.127295092 | 715.2906794 | 8.0703E-05 | |
| Residual | 3 | 0.000533888 | 0.000177963 | | | |
| Total | 9 | 0.764304437 | | | | |
| | | | | | | |
| | **Coefficients** | **Standard Error** | **t Stat** | **P-value** | **Lower 95%** | **Upper 95%** |
| Intercept | -0.135522 | 0.169304 | -0.800466 | 0.481966 | -0.674323 | 0.403279 |
| PLR | 3.982451 | 3.178201 | 1.253052 | 0.298961 | -6.132005 | 14.096906 |
| PLR^2 | -21.824983 | 20.921195 | -1.043200 | 0.373522 | -88.405562 | 44.755596 |
| PLR^3 | 64.018811 | 64.596623 | 0.991055 | 0.394717 | -141.556475 | 269.594096 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PLR^4 | -89.985791 | 101.574880 | -0.885906 | 0.440917 | -413.242391 | 233.270810 |
| PLR^5 | 59.468056 | 78.684585 | 0.755778 | 0.504710 | -190.941411 | 309.877524 |
| PLR^6 | -14.521766 | 23.799839 | -0.610162 | 0.584867 | -90.263477 | 61.219944 |

**Table XV** *$f_3$ regression model*

| **SUMMARY OUTPUT** | **CC/CC,ref = f3 (ELWT,OAT)** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Regression Statistics | | | | | | |
| Multiple R | 0.857555 | | | | | |
| R Square | 0.735400 | | | | | |
| Adjusted R Square | 0.732434 | | | | | |
| Standard Error | 0.048470 | | | | | |
| Observations | 452 | | | | | |
| | | | | | | |
| **ANOVA** | **df** | **SS** | **MS** | **F** | **Significance F** | |
| Regression | 5 | 2.912196433 | 0.582439287 | 247.9126417 | 2.7594E-126 | |
| Residual | 446 | 1.047820394 | 0.002349373 | | | |
| Total | 451 | 3.960016827 | | | | |
| | | | | | | |
| | **Coefficients** | **Standard Error** | **t Stat** | **P-value** | **Lower 95%** | **Upper 95%** |
| Intercept | 0.682358 | 0.030529 | 22.351278 | 0.000000 | 0.622360 | 0.742357 |
| ELWT | 0.042700 | 0.005437 | 7.853926 | 0.000000 | 0.032015 | 0.053384 |
| ELWT^2 | -0.000591 | 0.000258 | -2.288296 | 0.022587 | -0.001099 | -0.000083 |
| OAT | 0.010154 | 0.001113 | 9.120509 | 0.000000 | 0.007966 | 0.012342 |
| OAT^2 | -0.000182 | 0.000018 | -9.989376 | 0.000000 | -0.000218 | -0.000146 |
| ELWT*OAT | -0.000354 | 0.000061 | -5.806716 | 0.000000 | -0.000474 | -0.000234 |

## 7.2. Exploratory analysis of PI residuals depending on main energy drivers

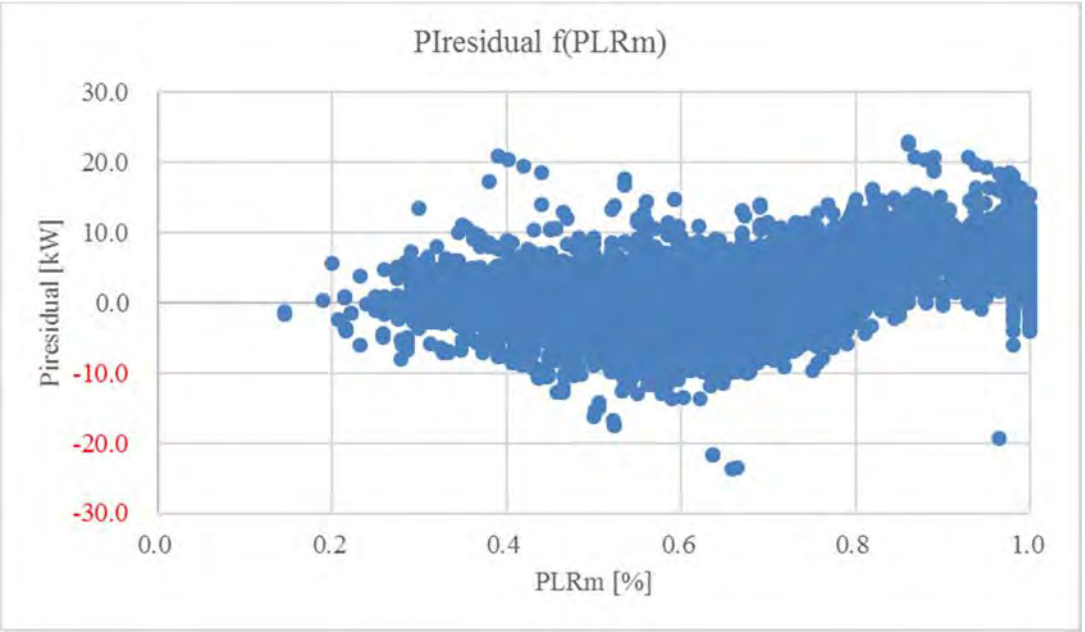



**Figure 7** *PIresidual f(PLRm)*

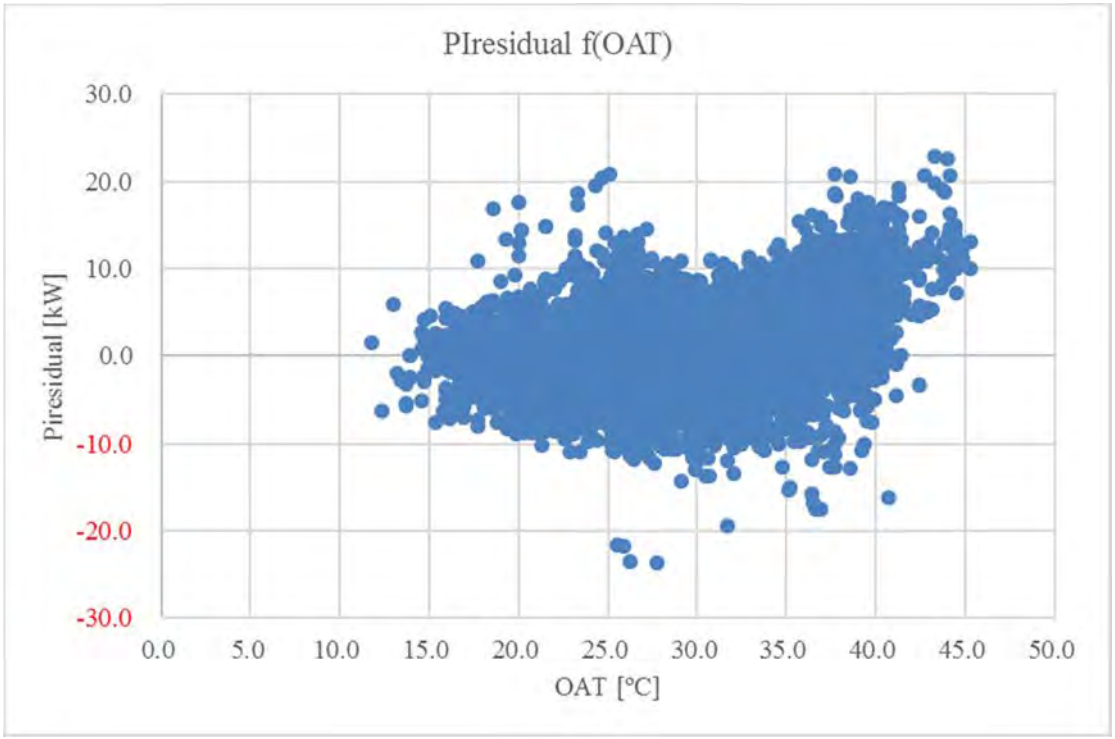



**Figure 8** *PIresidual f(OAT)*

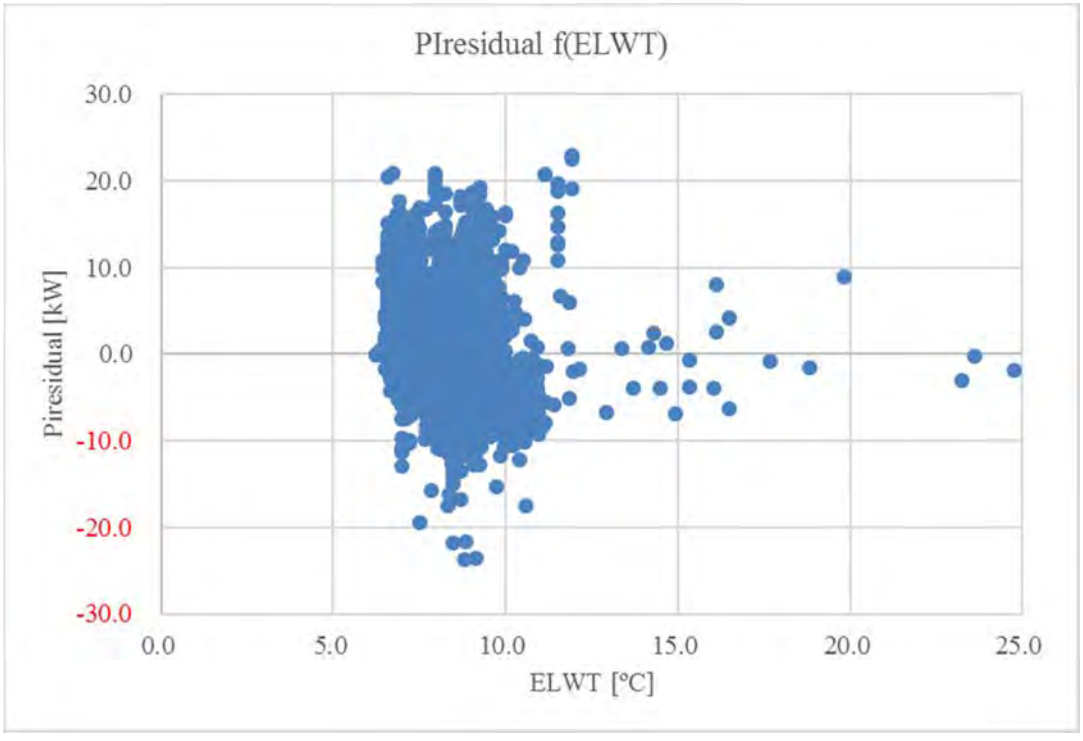



**Figure 9** *PIresidual f(ELWT)*

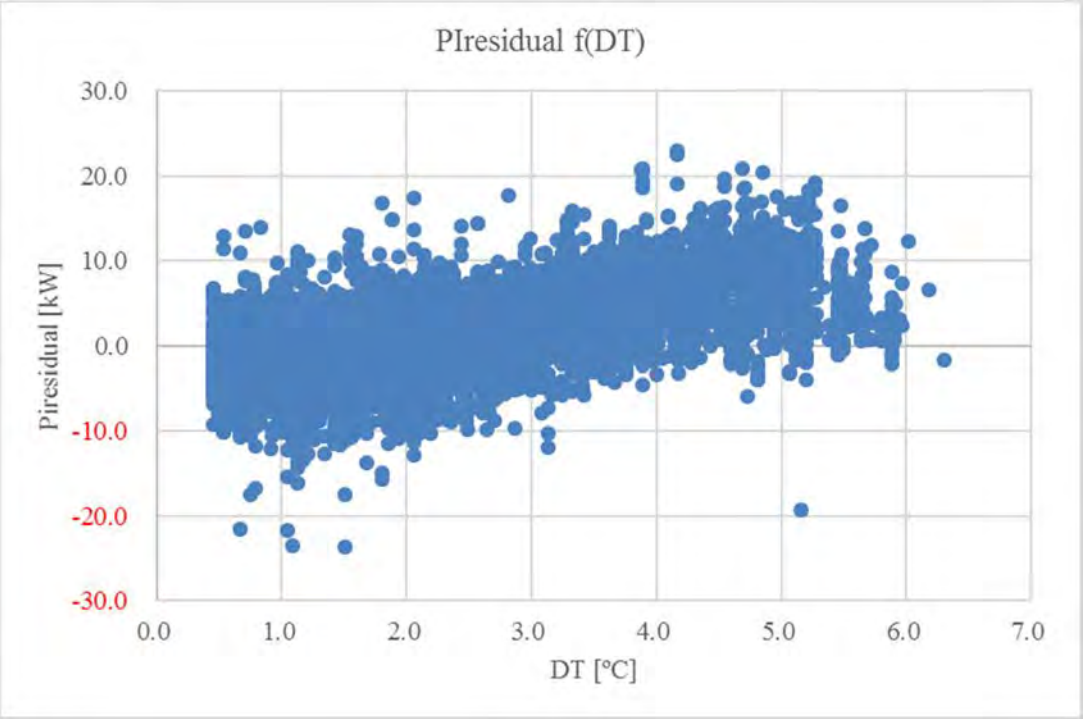



**Figure 10** *PIresidual f(DT)*

## 8. REFERENCES


Arnold, C. G., Cappellin, T. E., Gillespie, K. L., Hartman, T. B., Hegberg, M. C., Hubbard, R. S., … Harrold, R. M. (2012). *Instrumentation for Monitoring Central Chilled-Water Plant Efficiency* (Vol. 8400).

Landsberg, D. R., Shonder, J. A., Barker, K. A., Haberl, J. S., Judson, S. A., Jump, D. A., … Graef, P. T. (2014). *Measurement of Energy, Demand, and Water Savings* (Vol. 2014). Retrieved from www.ashrae.org/technology.

Pérez-Lombard, L., & Coronel, J. F. (2018). *Development of an Energy Saving Estimation Tool (ESET) (2572/0785)*. Seville. Retrieved from https://investigacion.us.es/sisius/sis_proyecto.php?idproy=26750

Vucci, J. I., Choksi, R. A., Hill, R. J., Johnson, P. A., Rodgers, B. J., Sigmon, B., … Hedrick, R. L. (2016). Method of Test for Field Performance of Liquid-Chilling Systems, *8400*.

York, D., & Tucker, E. (1980). *DOE-2 Reference Manual. Part1. Version 2.1*. (D. A. (Lawrence. B. N. L. York, E. F. (Lawrence B. N. L. Tucker, & C. C. (Lawrence B. N. L. Cappiello, Eds.) (Part1. Ver). Los Álamos, New México. Retrieved from http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=5263271

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

12:30 - 14:30

**SESIÓN 2 Track B. ENERGÍAS RENOVABLES y SMART GRIDS**

Modera: Eugenia Sillero **GASNAM**

"El biogás en España" **Luis Alberto Sebastián González.** Technical Director **GENIA BIOENERGY**

"Inyección de biometano en la red de gas natural vs compostaje y producción de biogás: un análisis de factores para toma de decisiones" **Montserrat Zamorano Toro.** Responsable Innovación **UNIVERSIDAD DE GRANADA (UGR)**

"Caso de éxito de simuladores para la recuperación de tensión en islas eléctricas. Bases para el digital twin de centrales eléctricas" **Patricia Romero.** Ingeniero de Operación, Responsable Comercial Área Simulación. **TECNATOM**

"Peak-Shaving Application with Energy Storage Systems in Microgrids" **Manuel García Plaza.** Control Algorithms Manager **SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY**

ALCALÁ
eco
ENERGÍAS

# Solución para la situación energética actual

1. NACIONES UNIDAS

   COP 21 (Paris, 2015): Limitación del aumento de la temperatura mundial a 2º C mediante la disminución de emisiones de GEI. Adoptado por 197 países.

2. Unión Europea

   Reducción emisiones GEI: 40% (2030)
   Cuota energías renovables: 32% (2030)
   Mejora de la eficiencia energética: 32,5% (2030)

3. GOBIERNO DE ESPAÑA – MINISTERIO DE ENERGÍA, TURISMO Y AGENDA DIGITAL

   Futura Ley de Cambio Climático y Transición Energética.

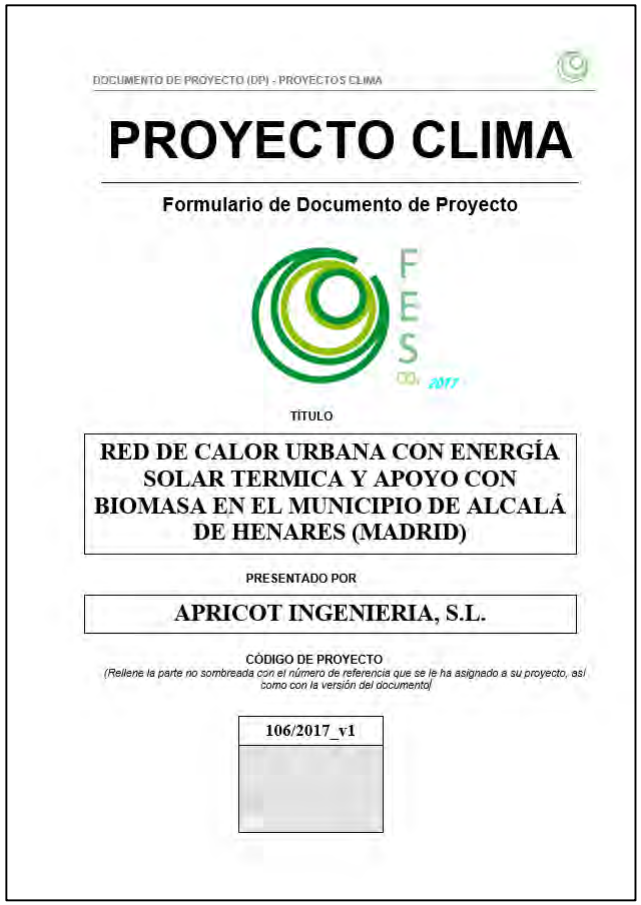
4. ALCALÁ DE HENARES AYUNTAMIENTO

   Carta de Aalborg (2003): Desarrollo sostenible a escala local.
   Red Española de Ciudades por el Clima (2005): Lucha contra el Cambio Climático.

**Informe del IPCC** (octubre 2018): "Para limitar el calentamiento global a 1,5 °C se necesitarían cambios de gran alcance y sin precedentes en todos los aspectos de la sociedad".

# Apoyo institucional

## Proyecto Clima del Fondo de Carbono para una Economía Sostenible (FES-CO2)



DOCUMENTO DE PROYECTO (DP) - PROYECTOS CLIMA

**PROYECTO CLIMA**

**Formulario de Documento de Proyecto**

TÍTULO

**RED DE CALOR URBANA CON ENERGÍA SOLAR TERMICA Y APOYO CON BIOMASA EN EL MUNICIPIO DE ALCALÁ DE HENARES (MADRID)**

PRESENTADO POR

**APRICOT INGENIERIA, S.L.**

CÓDIGO DE PROYECTO

*(Rellene la parte no sombreada con el número de referencia que se le ha asignado a su proyecto, así como con la versión del documento)*

| 106/2017_v1 |
|---|
| |

## Carta de apoyo del IDAE firmada por el Director General

Director General

**PROYECTO DE CENTRAL Y RED DE CALOR URBANA EN MADRID CON ENERGÍAS RENOVABLES**

**CARTA DE APOYO**

**Proyecto:** Central y red de calor urbana con energías renovables en Madrid

El aumento de la eficiencia energética y el impulso a las energías renovables es un área de gran interés, en especial en entornos urbanos y para aplicaciones térmicas, cuyo desarrollo está en línea con las estrategias y políticas energéticas de España y la Unión Europea.

En este sentido, ha sido presentado al IDAE por la empresa APRICOT INGENIERIA, S.L. un proyecto conceptual de central y red urbana de climatización y ACS, para varios barrios de la zona este de la ciudad de Madrid y con una potencia de 160 MW térmicos, basado principalmente en tecnología solar térmica y biomasa.

La implantación de centrales comerciales de sistemas urbanos centralizados para la producción de calor a partir de energías renovables supone integrar en las ciudades un nuevo modelo energético seguro, eficiente y limpio, al sustituir la generación de energía térmica a partir de combustibles fósiles por generación a partir de fuentes renovables, como ocurre en el presente proyecto.

Por lo tanto, desde el **Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)** se muestra interés en el proyecto y se manifiesta el deseo de mantenerse informado de los avances que se produzcan en el mismo, para poder colaborar así en su desarrollo.

FIRMADO:

I.D.A.E.
Salida
Nº. 201600003104
12/07/2016 12:31:21

FECHA: Madrid, 30 de junio de 2016

NOMBRE: Arturo Fernández Rodríguez

CARGO: Director General

IDAE: C/ Madera 8 - 28004 - Madrid - Tel.: 91 456 49 00 - Fax: 91 523 04 14 - direccion.general@idae.es

# Apoyo institucional

PROTOCOLO DE ACTUACIONES SUSCRITO ENTRE EL ILMO. AYUNTAMIENTO DE ALCALÁ DE HENARES Y LA SOCIEDAD ALCALÁ DE HENARES DISTRICT HEATING, S.L.

En Alcalá de Henares, a 06 de NOVIEMBRE de 2017

**REUNIDOS**

De una parte, El Ilmo. Ayuntamiento de Alcalá de Henares, con domicilio en Plaza de Cervantes 12. 28801, Alcalá de Henares (Madrid), representado por la Ilmo. Sr. Alcalde D. Javier Rodríguez Palacios.

De otra parte la sociedad Alcalá de Henares District Heating, S.L. con domicilio en Calle Fermín Caballero nº 60, 28034 Madrid, representada por su Presidente D. Teodorino López López, con D.N.I. núm. 09.719.517-0 y con domicilio en Calle Fermín Caballero nº 60, 28034 Madrid.

Ambas partes, según intervienen se reconocen mutua y recíprocamente la capacidad para formalizar el presente documento, y a tal fin

**EXPONEN**

**1.** El interés del Ilmo. Ayuntamiento de Alcalá de Henares de promover políticas que impulsen actuaciones dirigidas a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la mejora de la eficiencia energética y la implantación de energías renovables en sustitución de combustibles fósiles.

Estas actuaciones políticas están en línea con el acuerdo adoptado por la comunidad internacional en París en la XXI Conferencia de las Partes (COP21) celebrada en diciembre de 2015 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, e incluye el compromiso de alcanzar la neutralidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) entre 2050 y 2100 para contener el incremento de la temperatura de la Tierra.

**La Cumbre del Clima de París (COP21)** ha dado lugar a un acuerdo mundial que vincula jurídicamente a los países a limitar el incremento de la temperatura global en 2 grados centígrados a final de siglo, y a un mecanismo de revisión de su implementación cada cinco años.

**El Pacto de los Alcaldes para el Clima y la Energía** agrupa a autoridades locales y regionales con el compromiso voluntario de aplicar en sus territorios los objetivos climáticos y energéticos de la UE como son reducir las emisiones de $CO_2$ en al menos un 40% a 2030 y adoptar un enfoque integral para abordar la

Quijotes

## El Ayuntamiento de Alcalá firma un convenio para el estudio de un sistema de calefacción con energías renovables

ALCALAHOY

Actualidad | General | Municipal | Portada | Sociedad

## Unas 12.000 viviendas de Alcalá se beneficiarán de un proyecto de energías renovables a través del calor del sol

**El proyecto pretende utilizar paneles solares y calor urbano que podría abastecer a Alcalá a través de energías renovables: solar térmica de concentración apoyada por una central de biomasa. Su uso podría llegar potencialmente a 12.000 de viviendas de la ciudad, además de a numerosas empresas, y supondría una considerable reducción de la factura energética.**

Por **Alcalá Hoy** - 30 de enero, 2018

## PROGRAMAS EUROPEOS

HORIZONTE 2020 (2014-2020). Programa Marco de Investigación e Innovación de la Unión Europea.

La Comisión Europea implantó el programa "Horizonte 2020" (2014-2020) dotado de 80.000 millones de euros, para impulsar la investigación, la innovación y la competitividad.

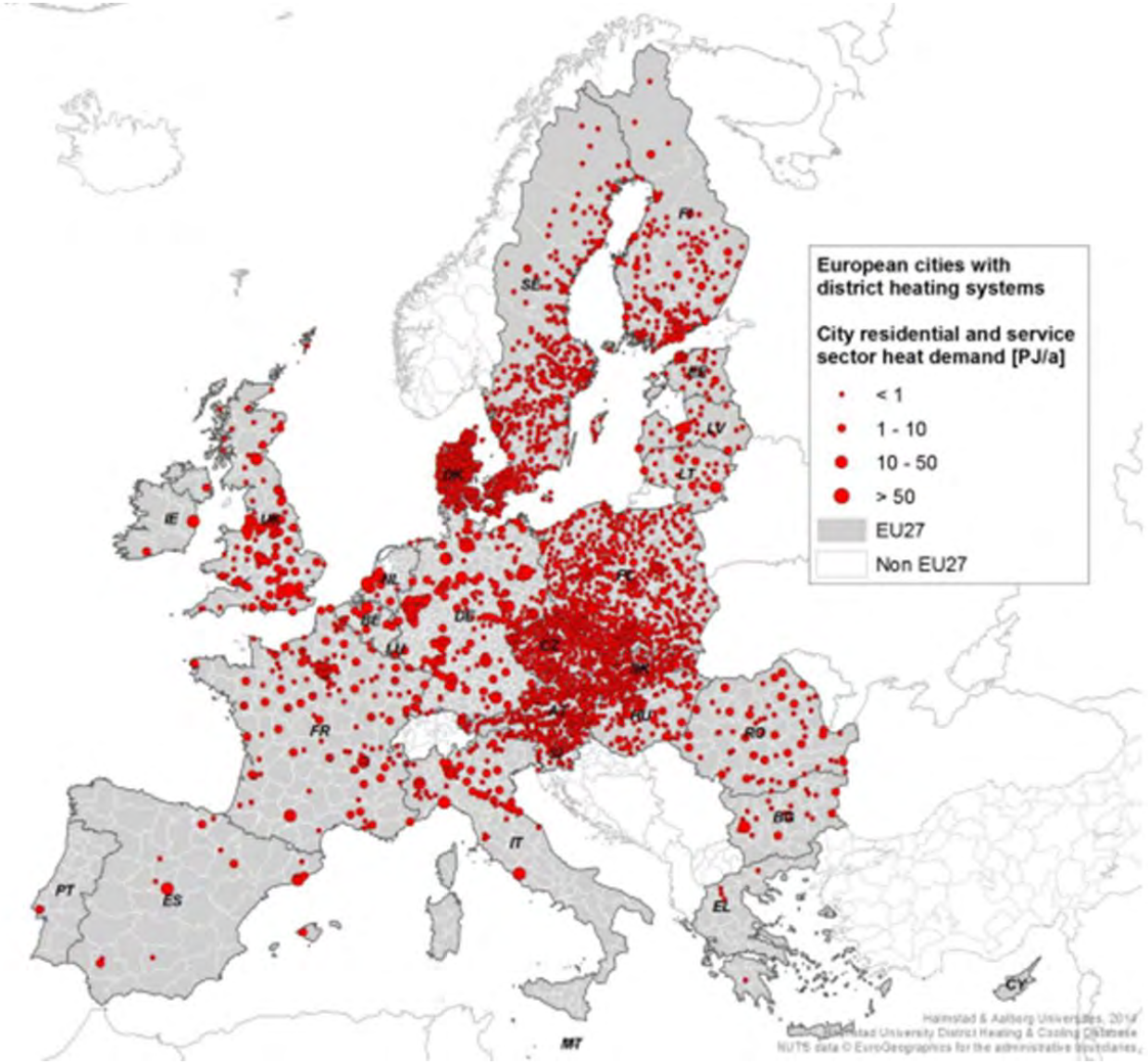
**LC-SC3-RES-8-2019: Combinación de tecnologías renovables para una Red de Calor urbana**

- Soluciones de calefacción urbana basadas en una o más tecnologías de energías renovables
- Las soluciones deberán ser demostradas en condiciones reales con una capacidad térmica superior a 20 MW.
- El consorcio deberá involucrar a operadores y consumidores para que puedan contribuir en diseño óptimo y económicamente rentable.
- Contribución de la UE entre 8 y 15 millones de euros.

ALCALÁ eco ENERGÍAS

# ¿Qué es un District Heating?

# Las redes de calor en España y Europa



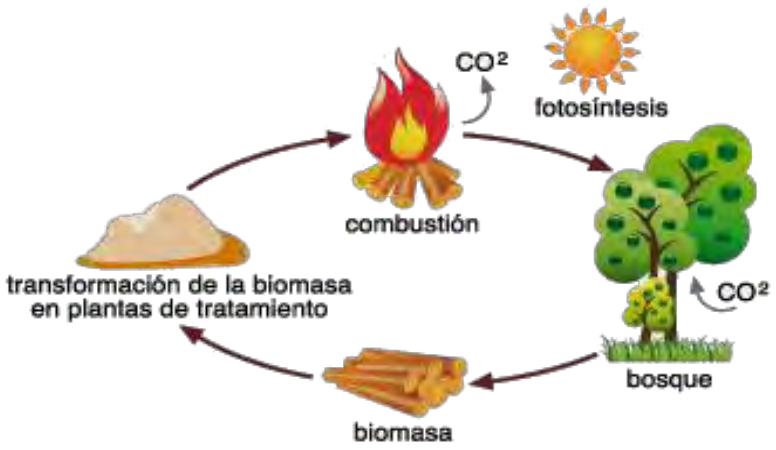

**Europa:**
**+5000 redes**

**España:**
**+300 redes**

# Nuestra solución: energías renovables

## Biomasa

- **Biomasa:** combustible de origen biológico (energía solar/fotosíntesis de las plantas) y renovable (no computa $CO_2$).
- **Procede de:**
  - Restos de cosechas agrícolas
  - Limpiezas de montes
  - Podas del arbolado




## Energía solar

- **Colectores Solares de Concentración:** Viabilidad técnica y económica de una instalación solar de concentración.
- **Gran implantación:** En Europa hay más de 160 instalaciones solares de gran tamaño que abastecen con energía solar a redes de calefacción urbana.

ALCALÁ eco ENERGÍAS

# La central térmica

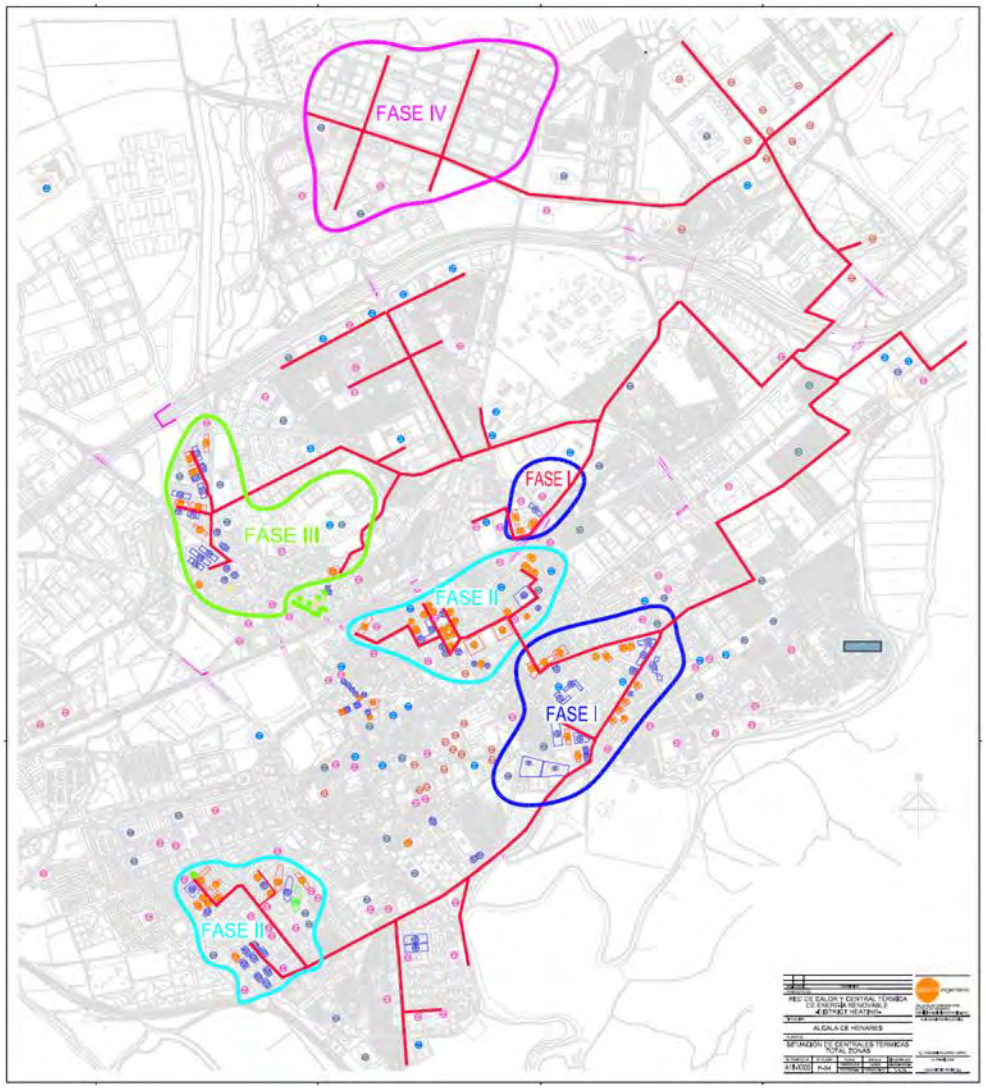
**Mantenimiento 24h**

**Tecnología puntera:**
Mayor eficiencia
Menor contaminación
Menor coste

**Filtrado superior a normativa de humos y partículas**

**Sistema centralizado alejado del núcleo urbano**

# Red de calor de Alcalá de Henares

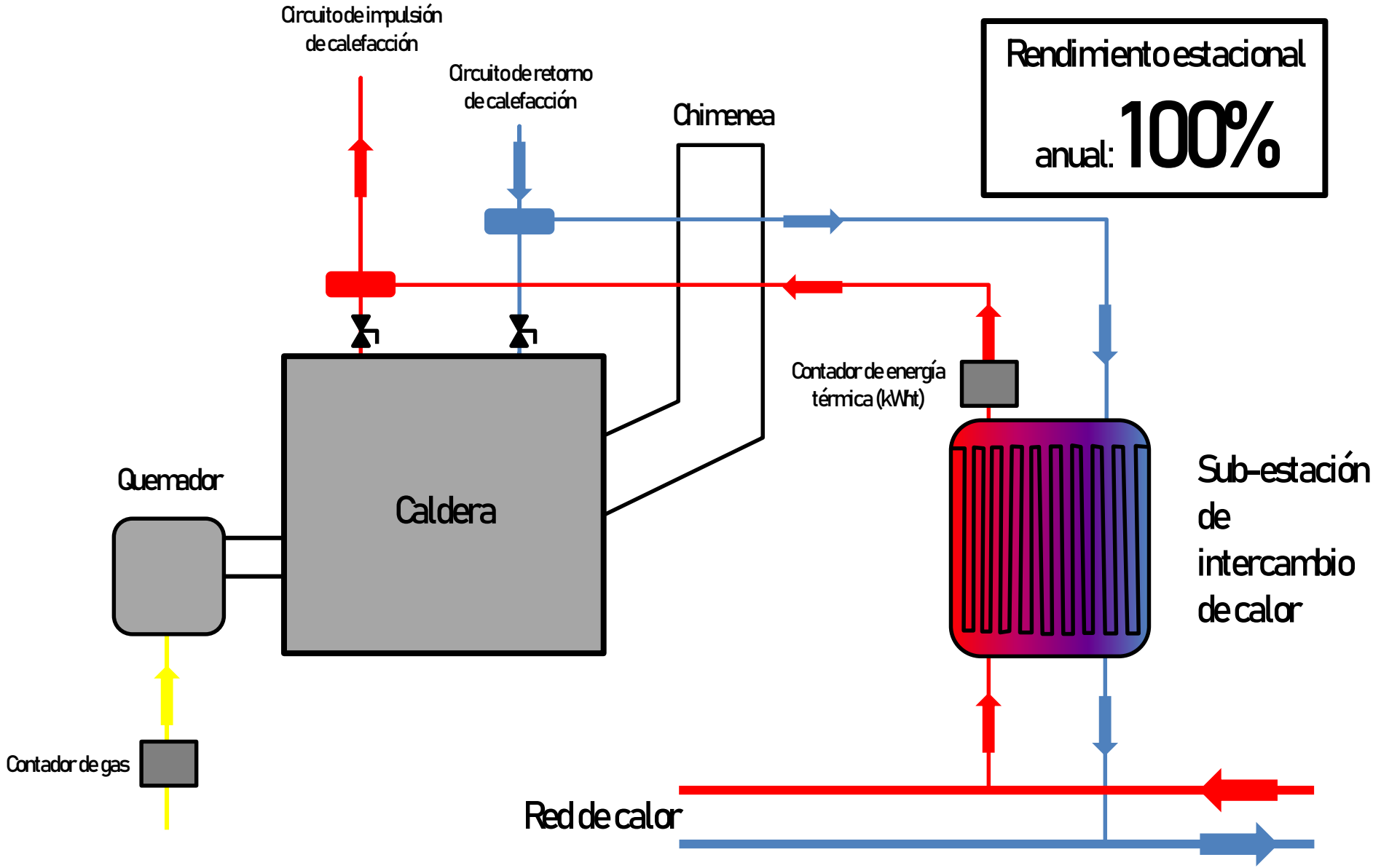



| ZONA | COMBUSTIBLE ACTUAL | Nº SALAS CALDERAS | Nº VIVIENDAS |
|---|---|---|---|
| Zona 1 **El Val, Los Nogales y La Estación** | Gas natural | 45 | 3.371 |
| | Gasóleo | 41 | 3.188 |
| Zona 2 **IVIASA y El Chorrillo** | Gas natural | 17 | 1.273 |
| | Gasóleo | 8 | 800 |
| | Carbón | 6 | 120 |
| Zona 3 **Copasa, Reyes Católicos** | Gas natural | 19 | 1.920 |
| | Gasóleo | 13 | 1.382 |
| Zona 4 **Espartales** | | | |
| **TOTAL** | | **149** | **12.054** |

**Edificios privados:**
**hoteles, residencias, colegios, etc.**

**Edificios públicos:**
**hospital, colegios, universidad, ayto, etc.**

# Esquema de instalación en la sala de la caldera

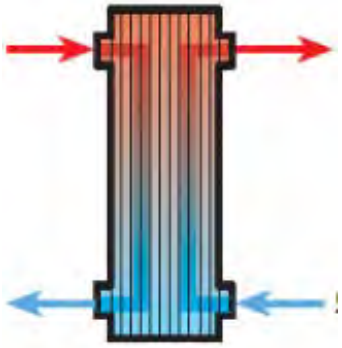


# ¿Cómo se conecta mi edificio a la red de calor?

La red de calor está enterrada bajo vía urbana

Mediante una subestación térmica (intercambiador de calor) se realiza la conexión entre la red y el edificio.

En el interior del edificio y junto a la sala de calderas se dispondrá una subestación encargada de transmitir la energía térmica de la red.



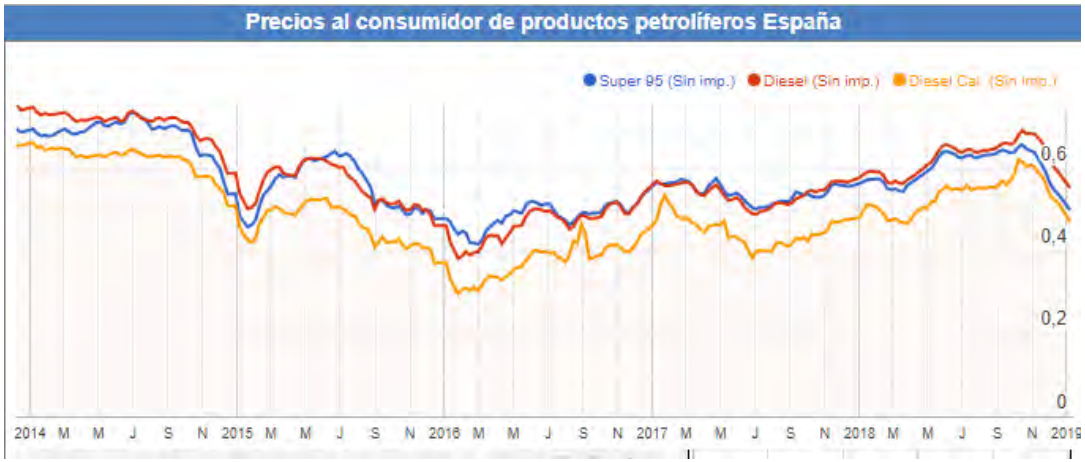
# Los PRECIOS de los combustibles fósiles y su fluctuación

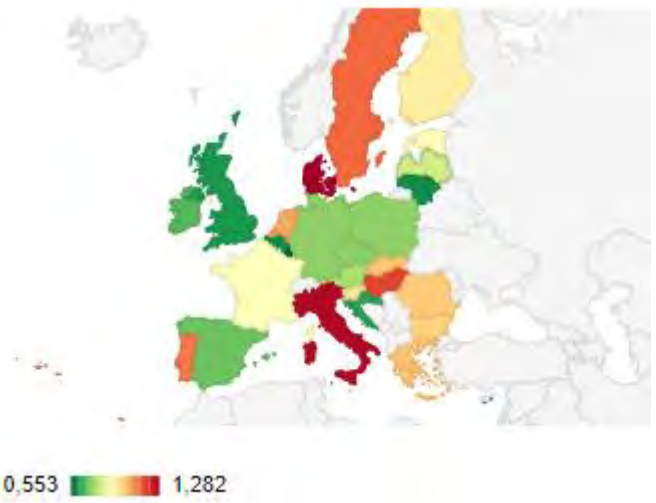
**Expansión / Datosmacro.com**

PETROLEO OPEP - OCTUBRE DE 2018

## En octubre sube el precio del petroleo de la OPEP

El precio medio del barril de la OPEP ha subido en lo que va de mes a los 81,49$, desde los 77,18$ del mes anterior, un 5,58%. **En los últimos doce meses el precio del barril de petroleo de la OPEP ha aumentado un 47,2%.**




## Reducir el calentamiento global en 0,5°C, la diferencia entre la vida y la muerte

8 Octubre 2018 | Cambio climático

https://news.un.org/es/

- **Nuestros recursos energéticos (biomasa y solar) se mantienen estables**

# La lucha contra el cambio climático

El Consejo Europeo acordó el **marco de actuación en materia de clima y energía** hasta el año 2030, que ratificó en la Cumbre del Clima de Paris (**COP21**) en diciembre de 2015 y que la temperatura de la Tierra no aumente 1,5º

**Reducción** del 40% de emisiones de **gases de efecto invernadero** con respecto a los niveles de 1990.

Cuota del 32% de **energías renovables** en el consumo energético.

Mejora del 32% en la **eficiencia energética** en comparación con las proyecciones de consumo previsto

La ONU recuerda a la humanidad la necesidad de comenzar la **transformación energética** de las ciudades.

- **La red de calor de Alcalá responde a los tres objetivos mencionados**

# Enfermedades asociadas a la contaminación

**La contaminación atmosférica por el uso de combustibles fósiles se asocia con mortalidad por causas cardiovasculares y pulmonares**

**34%** de las muertes por **ACCIDENTE CEREBRO-VASCULAR**

**27%** de las muertes por **CARDIOPATÍAS**

**36%** de las muertes por **CÁNCER DE PULMÓN**

**35%** de las muertes por **EPOC**

**Fuente**. Newsletter Diario Médico DIC 16, *Enfermedades asociadas a la polución atmosférica por combustibles fósiles* (Tortajada, García i Castell, López Andreu, García y Domínguez, Ortega García, Berbel Tornero), Revista Española de Pediatría 2001.
**Nota**: Se adjunta dossier ampliando información al respecto.

# ¿QUÉ OFRECEMOS?

- ✓ Suministro de energía térmica basado en energías renovables
- ✓ Sistema centralizado, mayor eficiencia y menores costes; red de calor
- ✓ Reducimos la contaminación en el núcleo urbano; mejor calidad del aire
- ✓ Revalorización de sus viviendas
- ✓ Ahorro mínimo estimado de un 10%

# MODELO GESTIÓN ENERGÉTICA RED DE CALOR

- ✓ **Sin inversión**: NO requiere APORTE ECONÓMICO, Cuota de Conexión **BONIFICADA al 100%**
- ✓ **Sin compromiso** hasta la entrada en vigor: sólo una vez se haya iniciado el servicio de suministro
- ✓ **Sin costes de mantenimiento**: calidad de servicio sin costes de ningún tipo (sólo pagarán por la energía consumida)
- ✓ **Sin interrupción de Suministro**: Garantizamos el suministro durante las 24h los 365 días del año.
- ✓ **Sin subidas en el precio**: Sólo actualización de IPC

ALCALÁ eco ENERGÍAS

# ¿Por qué conectarse a Alcalá Eco Energías?

**Ahorro económico**

**Confort sin preocupaciones**

**Garantía de suministro y Fiabilidad**

**Menor riesgo de seguridad**

**Mejora la calificación energética**

# ¿Por qué conectarse a Alcalá Eco Energías?

**Reducción contaminación**

**Generación de empleo**

**Revalorización de las podas**

**Desarrollo sostenible**

**Acometida de otras instalaciones**

# Caso de éxito: Móstoles Eco Energías

ALCALÁ
eco
ENERGÍAS

**Blas Cabrera, 23**
**28806 Alcalá de Henares (Madrid)**
**alcalaecoenergias.com**
**info@alcalaecoenergias.com**

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

16:00 - 18:00

**SESIÓN 3 Track B. ENERGÍAS RENOVABLES y ECONOMÍA SOSTENIBLE**
Modera: Joaquín P. Mas. **GRUPO ENERCOOP**

Proyecto Alcalá ECO Energías.
**Teodorino López**

"Nuevos modelos de negocio para la economía colaborativa y circular: intercambio y gestión sostenible del excedente industrial" **Laura Martín Frax**. Ingeniero I+D+I. **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ENERGÍA (ITE)**

"Objetivo 2030: la descarbonización de Menorca. Transición energética en sistemas insulares" **Ignacio García Belenguer.** Profesor. **CIPFP CATARROJA**

"ECO-GATE: proyecto EDAR Butarque. La UE impulsa el gas renovable" **Jesús Hernández**. Nuevos negocios. **NEDGIA**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# Nuevos modelos de negocio para la economía colaborativa y circular: Intercambio y gestión sostenible del excedente industrial.

Laura Martín Frax

ITE
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ENERGÍA

aee
The Association of Energy Engineers
Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice


1 Introducción

2 Surplus Mall: nuevos modelos para la simbiosis industrial

3 Viabilidad e impacto

# 1. INTRODUCCIÓN

# 1.1. ¿Qué es la economía circular?

*"La economía circular constituye una alternativa al modelo lineal de «extraer, producir, consumir, tirar». Una economía circular* ***convierte bienes que están al final de su vida útil en recursos para otros bienes****, cerrando bucles en ecosistemas industriales y minimizando residuos."*

Emilio Cerdá Tena, Aygun Khalilova.
"Economía circular",
Economía industrial, ISSN 0422-2784, Nº 401, 2016

*"En una economía circular,* ***el valor de los productos y materiales se mantiene*** *durante el mayor tiempo posible; los* ***residuos y el uso de recursos se reducen*** *al mínimo, y* ***los recursos se conservan*** *dentro de la economía cuando un producto ha llegado al final de su vida útil, con el fin de* ***volverlos a utilizar repetidamente y seguir creando valor****."*

Comisión Europea,
Paquete sobre la economía circular, 2015

*Diagrama economía circular. Fuente:UE*

## ¿Por qué?

- Sobreexplotación y agotamiento de recursos
- Emisiones GEI
- Colmatación vertederos, contaminación, riesgos salud
- Degradación ecosistemas, pérdida resiliencia
- Pérdida de materiales valiosos

## 1.2. Objetivos clave

1. Consumo eficiente de los **recursos** (reducción uso de recursos, uso de materiales renovables y reciclables).
2. Reducción de **emisiones** de GEI.
3. Disminución de los **residuos** y pérdidas de **materiales valorizables**.
4. Mantenimiento del **valor de productos**, componentes y materiales en la economía.
5. Crecimiento económico sostenible, mejora de balance económico-ambiental e incremento de la competitividad de las empresas.

*"La **economía circular** trata de reducir los residuos y de proteger el medio ambiente, pero también de **transformar profundamente el funcionamiento de toda nuestra economía**. Reconsiderando nuestra manera de producir, trabajar y comprar, podemos generar nuevas oportunidades y crear nuevos puestos de trabajo."*

*Frans Timmermans, Vicepresidente, Comisión Europea, 2015*

# 2. SURPLUS MALL: nuevos modelos para la simbiosis industrial

## PROYECTO SURPLUS MALL

Proyecto Europeo cofinanciado por Climate KIC

Área temática: Sistemas de producción sostenible

Coordinado por ITE (España)

1ª fase (pathfinder): 01/2017- 07/2017

2ª fase (accelerator): 06/2018 – 12/2018

**Consorcio:** Instituto Tecnológico de la Energía (ITE) (España), Universidad de Bolonia (Italia), ASTER (Italia), World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (Suiza). **Participantes:** Federación Valenciana de Parques Empresariales (FEPEVAL) (España), recircular.

## 2.1. Concepto Surplus Mall

**Plataforma de comercio electrónico para el intercambio de excedentes industriales** (excedentes, subproductos, materias secundarias) **y servicios asociados**, basada en estrategias de economía circular.

**Participantes:**

(1) empresas generadoras/propietarias de excedentes

(2) empresas demandantes de residuos, materias secundarias y subproductos

(3) intermediarios encargados de logística, transporte, gestión y control, entre otros servicios.

Figura: Concepto plataforma Surplus Mall.
Fuente: proyecto Surplus Mall

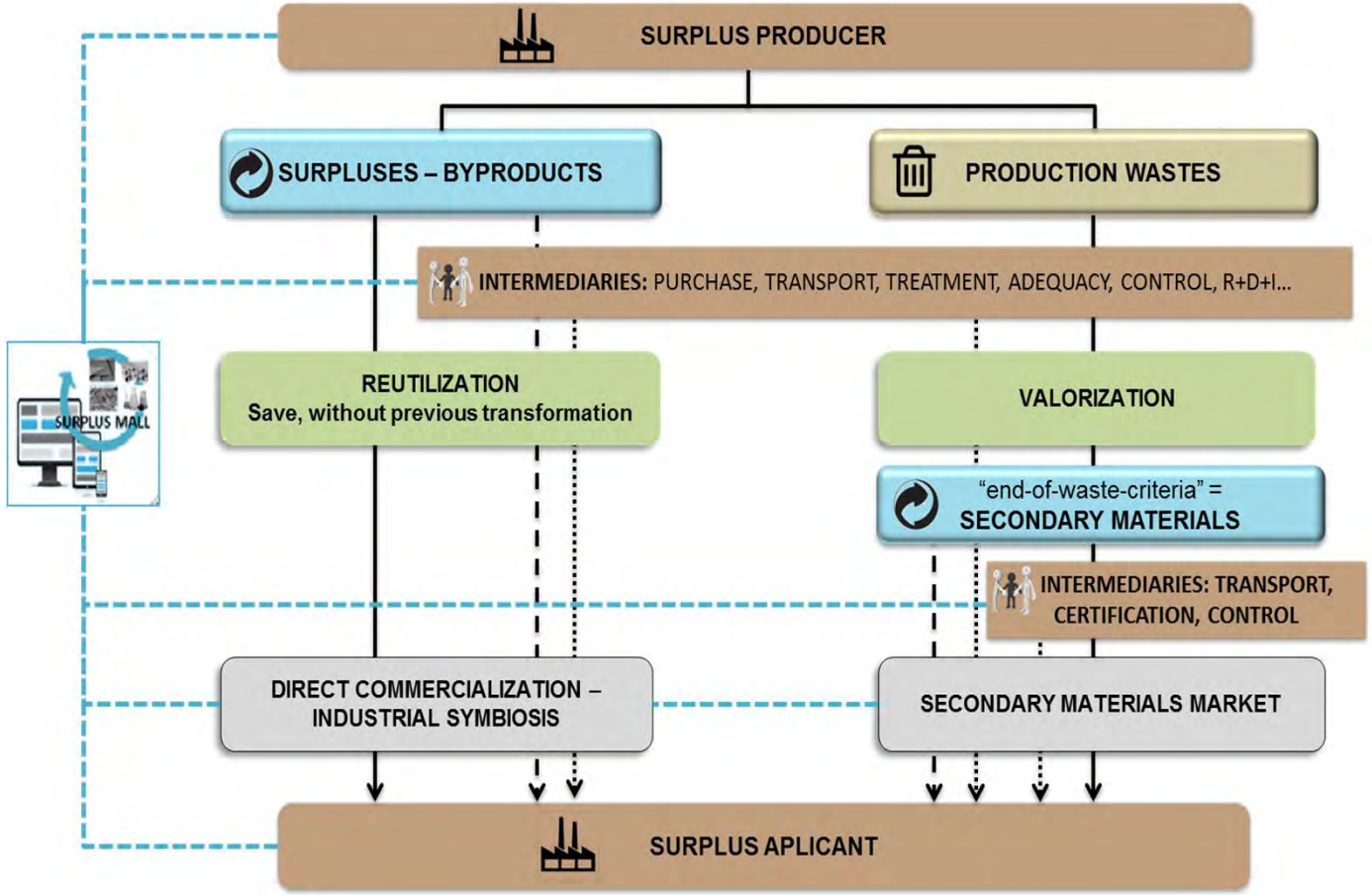
# 2.2. Operación Surplus Mall (I)

Diagrama de participantes involucrados en las transacciones de la plataforma y sus interacciones.

Transacciones a través de plataforma Surplus Mall

## 2.2. Operación Surplus Mall (II)

Dependiendo de la tipología de excedente residual diferentes acciones son necesarias para su reintroducción en las cadenas productivas.



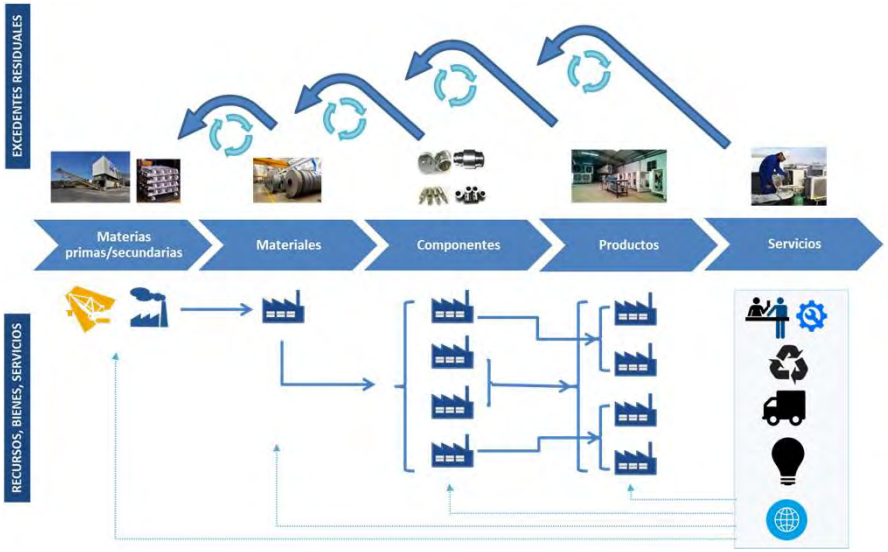
## 2.3. Oportunidades (I)

SIMBIOSIS INDUSTRIAL: REUTILIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS Y EXCEDENTES

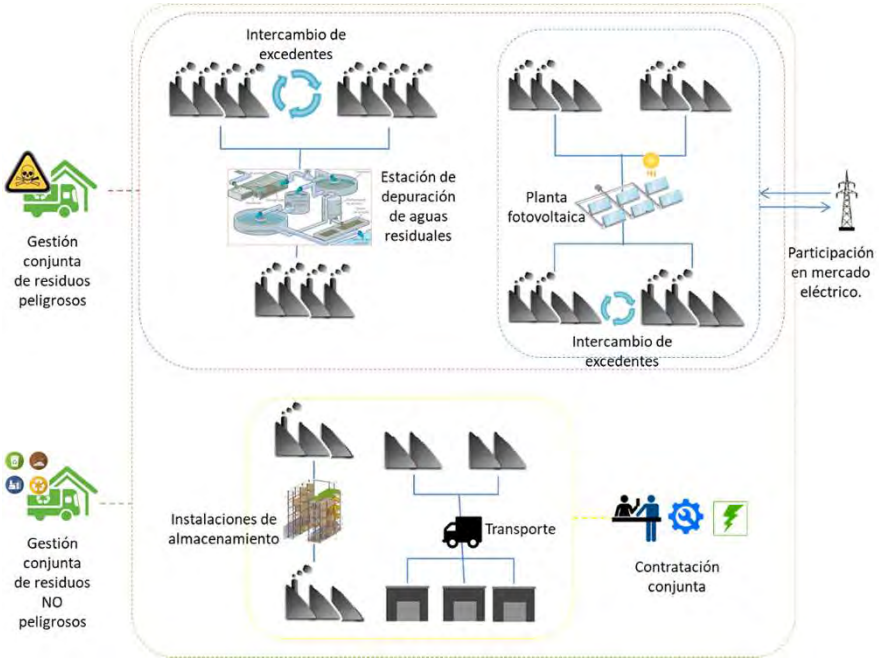
VALORACIÓN DE RESIDUOS Y MERCADO DE MATERIAS PRIMAS SECUNDARIAS

NUEVOS NICHOS DE MERCADO:
CERTIFICACIÓN DE PRODUCTOS, CERTIFICACIÓN DE EMPRESAS, NUEVAS TECNOLOGÍAS Y PROCESOS DE VALORIZACIÓN, PREPARACIÓN PARA LA REUTILIZACIÓN, ALMACENAMIENTO Y GESTIÓN DE MATERIALES, OTROS.

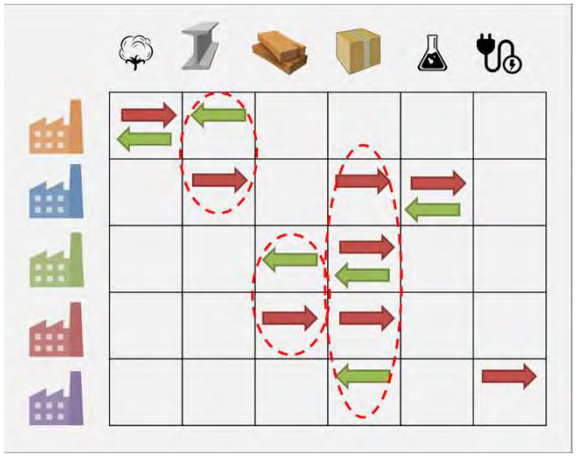
# 2.3. Oportunidades (II)




Simbiosis industrial cadena de valor/sector actividad. Surplus Mall




Estrategias colaborativas. Gestión agregada de residuos. Surplus Mall.



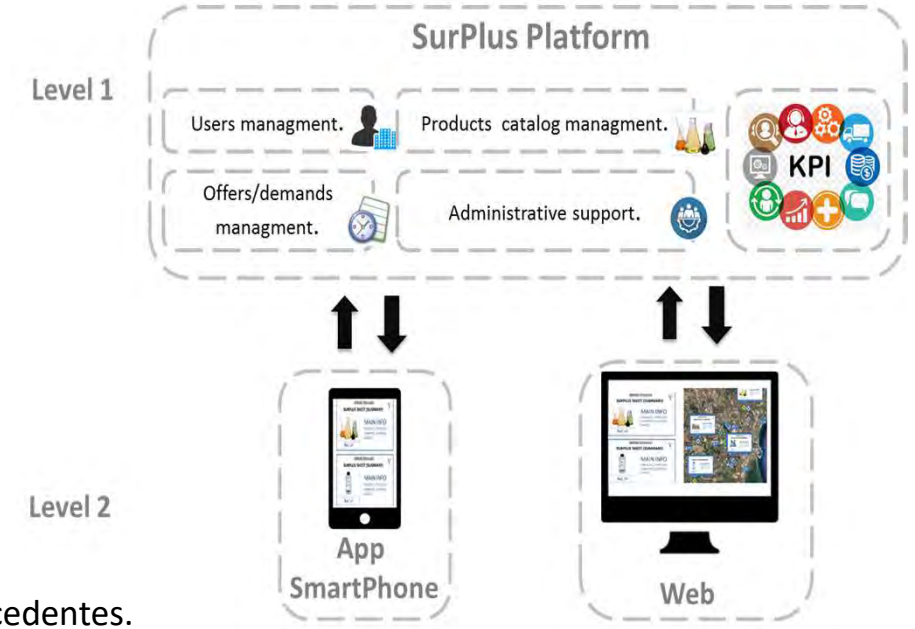
Identificación de oportunidades.

- ✓ **Simbiosis industrial**: recursos, residuos , energía.
- ✓ **Acciones de I+D+i** conjuntas
- ✓ Contratación y **gestión conjunta** de bienes y servicios
- ✓ Nuevas **oportunidades de negocio**

# 2.4. Funcionalidad y diseño (I)

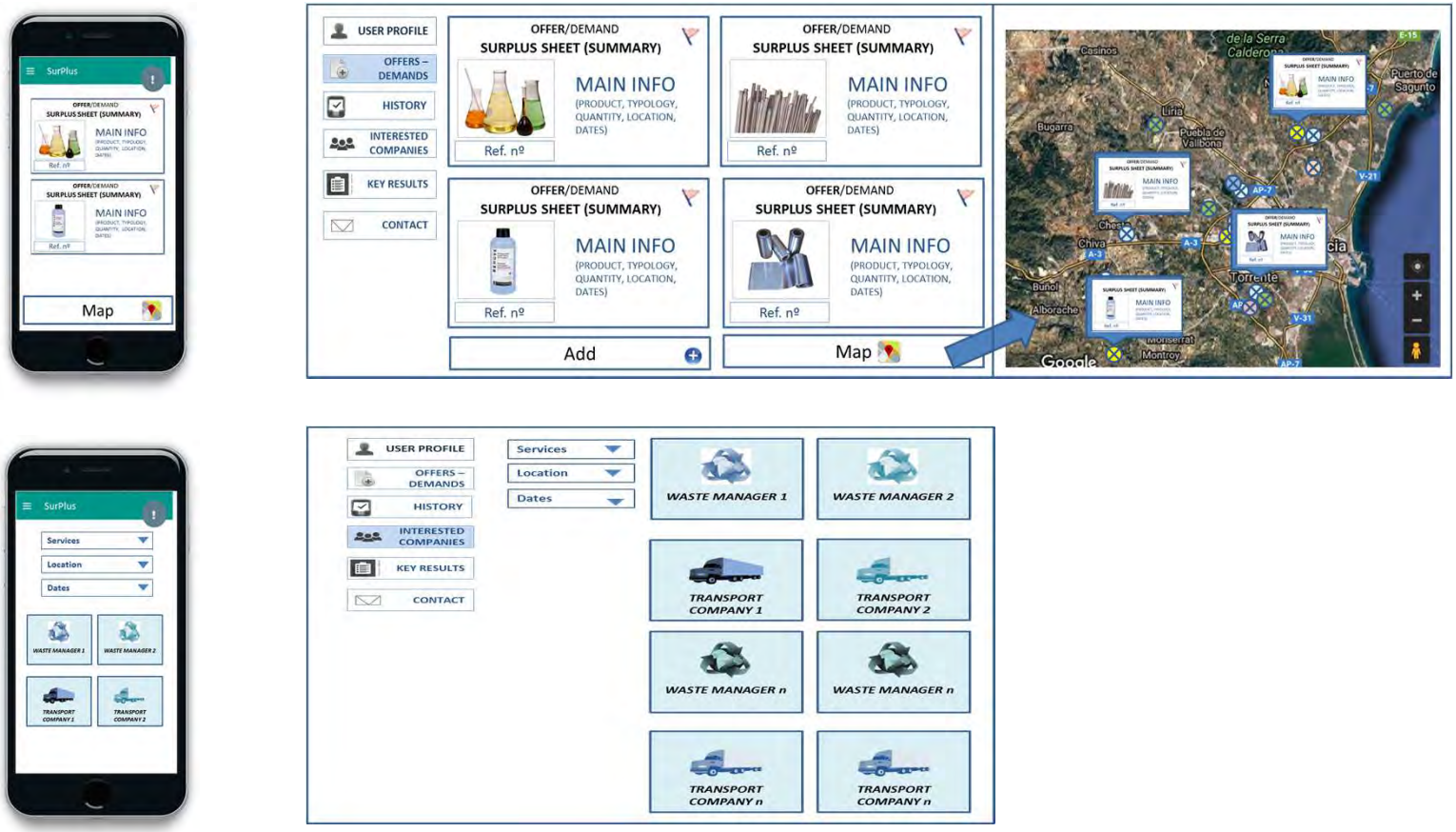
**Funcionalidades principales:**

- ❑ Publicación y búsqueda inteligente de ofertas/demandas.
- ❑ Visualización de catálogo de productos
- ❑ Contacto entre interesados en la compra/venta
- ❑ Contacto con intermediarios (logística, gestión, certificación, consultoría)
- ❑ Soporte administrativo (consultores externos)
- ❑ Caracterización y categorización sistematizada de excedentes.
- ❑ Indicadores de calidad de producto.
- ❑ Indicadores medioambientales (asociados a criterios de búsqueda)
- ❑ Indicadores de "fidelidad" (usuarios "oro", "plata")




Diseño inicial arquitectura
Fuente: Surplus Mall

# 2.4. Funcionalidad y diseño (II)




Figuras: Ejemplos de diseño de interfaces de usuario de plataforma Surplus Mall. Fuente: Proyecto Surplus Mall.

## 2.5. Objetivos

- Reducción del **consumo de materias primas** (*minimización del impacto ambiental asociado a su ciclo de vida: extracción, transporte, transformación, uso y fin de vida*).
- Reducción de la **generación de residuos** (*minimización del impacto ambiental asociado a su gestión y tratamiento*).
- Reducción global de **emisiones de GEI**.
- Mejora **balance económico y la competitividad empresarial** → reducción de costes de adquisición de nuevos materiales, reducción de costes asociados a la gestión de excedentes, obtención de ganancias derivadas de la venta de excedentes y servicios.
- Incremento **sostenibilidad de las empresas** → responsabilidad social corporativa. Sellos de economía circular.
- Modelo de negocio **multisectorial y multirregional** económicamente viable

En línea con:

**Estrategia europea producción sostenible**

- Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos (2011)
- Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica (2011)
- Paquete economía circular y plan de acción (2014 – 2015)

# 3. VIABILIDAD E IMPACTO

## 3.1. Desarrollo de proyecto

**Estudio de viabilidad**

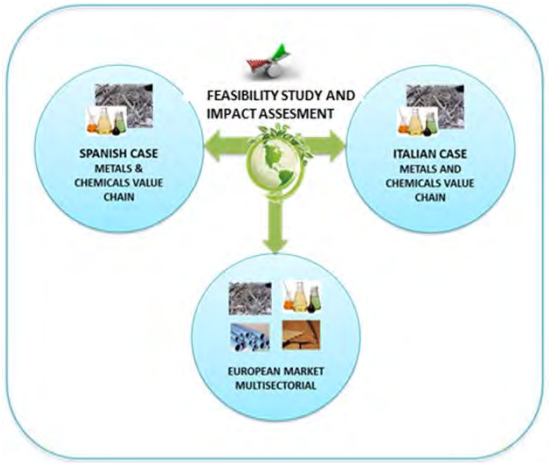
*Climate KIC Pathfinder 2017*

**Modelo de negocio**

*Climate KIC Accelerator 2018*

**Demostración y despliegue**

*Próximos pasos*



Análisis de dos sectores (**metal y químico**) en dos paises (**Italia y España**)

Dos de los sectores más importatnes respecto a su **contribución al cambio climático.**

## 3.2. Viabilidad

Escenario favorable para el desarrollo y despliegue de la plataforma propuesta:

(1) Alto volumen de usuarios potenciales: industria, gestores, logística…

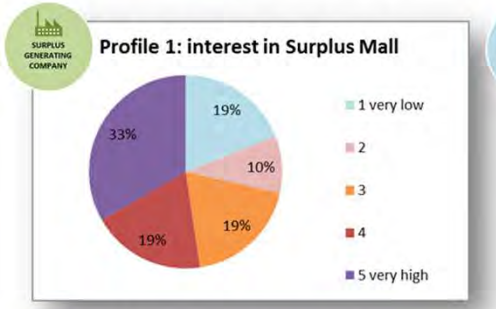
(2) Gran cantidad de excedentes químicos y metálicos disponibles para ser reutilizados.

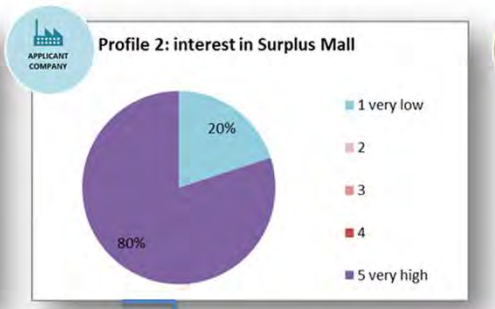
(3) Modelo alineado con las estrategias, políticas y regulaciones euorpeas vigentes. Líneas de financiación.

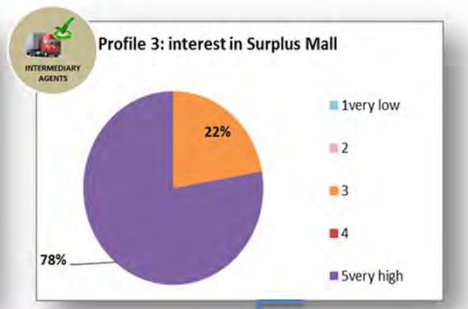
(4) Asociaciones empresariales, áreas industriales ,entidades públicas proactivas

(5) Gran interés de los grupos objetivo en el proceso de consulta. Predisposición de las empresas.

SE ORGANIZARON **WORKSHOPS CON STAKEHOLDERS** Y SE DISTRIBUYERON MÁS DE **1500 CUESTIONARIOS A EMPRESAS INDUSTRIALES E INTERMEDIARIOS.**




Aprox. 50% interés alto o muy alto.

Aprox. 80% interés muy alto en ambos perfiles.

## 3.3. DAFO

### FORTALEZAS

- Enfoque geográfico y sectorial.
- Proactividad áreas industriales, gestores y municipios
- Predisposición empresas
- Localización de empresas en agrupaciones o parques
- Proyectos actuales
- PYMES y microPYMES con actividad análoga (favorece gestión conjunta)

### DEBILIDADES

- Sostenibilidad financiera a largo plazo.
- Infraestructura logística y de transporte.
- -Recursos requeridos para operación
- PYMES y microPYMES con actividad análoga (limita reutilización)
- Falta de sistemas de gestión
- Desconocimiento: novedades tecnológicas, financiación, empresas próximas...
- Falta de espacio disponible para servicios e infraestructuras comunes.

### OPORTUNIDADES

- Tasas de vertido
- Créditos de carbono
- Regulaciones flexibles
- Escenario actual: legislación medioambiental e industrial, herramientas financiación, estrategias para la sostenibilidad, nuevos conceptos emergentes (industria 4.0, economía circular...)
- Posibilidad de impulso: nuevas TIC, mejora productividad con ingresos adicionales, simbiosis industrial....

### AMENAZAS

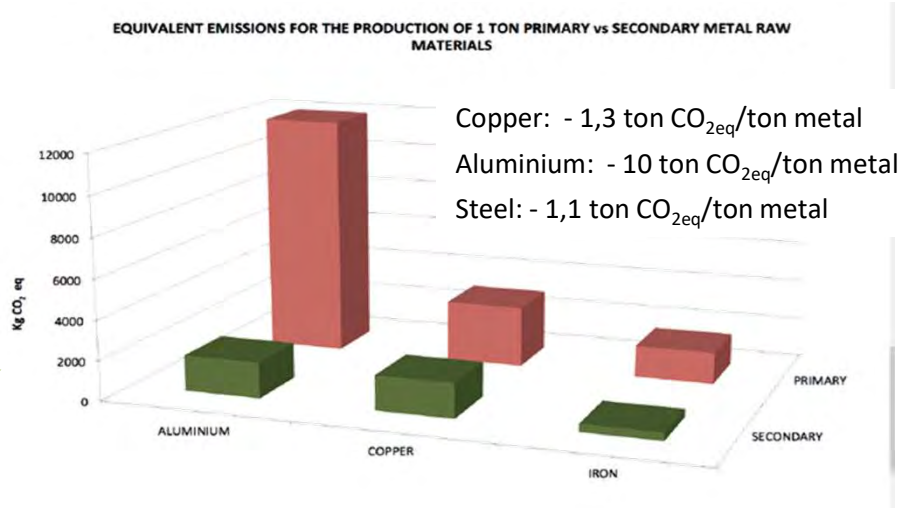
- Precio de materias primas
- Comercio offline
- Mejora de la eficiencia del material fabricado.
- Resistencia al cambio: desconfianza de los nuevos conceptos y tendencias, baja participación, bajo interés, poca concienciación ...
- Falta de confianza: legislación, administración, procesos burocráticos...
- Poco pronóstico de reutilización: requisitos de calidad, trazabilidad, precios ...

## 3.4. Impacto ambiental

Los casos de estudio demostraron un impacto positivo con una considerable reducción de emisiones de GEI.

El uso de **materias primas secundarias en processo productivos** significa una importante **reducción de GEI**.

Resultados del análisis de ciclo de vida muestran una reducción significativa de emisiones de CO2.




Copper: - 1,3 ton $CO_{2eq}$/ton metal

Aluminium: - 10 ton $CO_{2eq}$/ton metal

Steel: - 1,1 ton $CO_{2eq}$/ton metal

Reducción del impacto ambiental asociado a la **logística y el transporte**:

Surplus Mall ayudará a los usuarios a priorizar las alternativas más sostenibles (materiales y servicios cercanos, vehículos sostenibles, certificaciones medioambientales, entre otros)

## 3.5. Impacto socioeconómico

(1) Sostenibilidad empresas (responsabilidad social corporativa)

(2) Imagen corporativa y competitividad

(3) Mejora balance económico

(4) Reducción prácticas de gestión ilegales

(5) Impulso del mercado de materias secundarias y subproductos

(6) Mejorar percepción compradores : transparencia (precios, tratamientos..), calidad (certificación y control) – seguridad y confianza

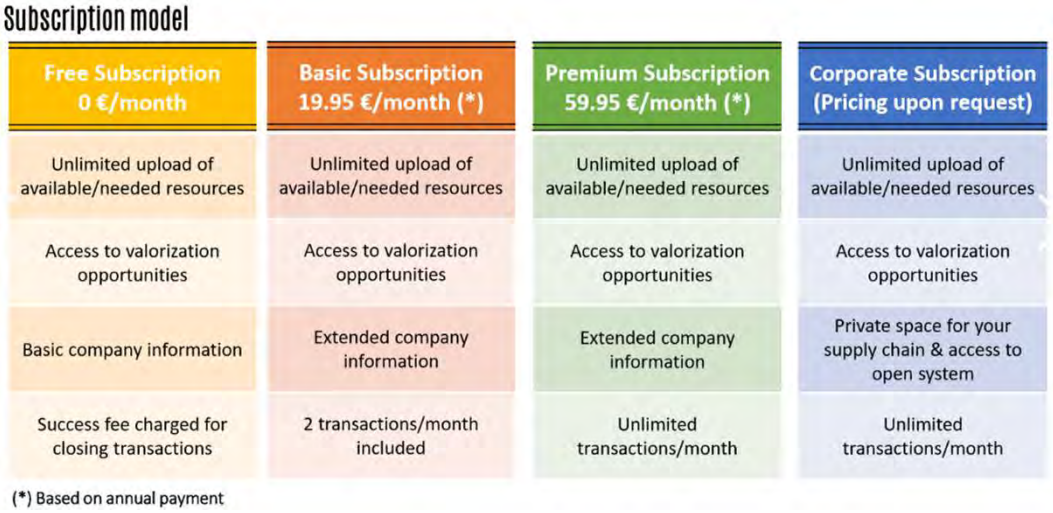
(7) Contribuir a sensibilización y concienciación ambiental

(8) Nuevas oportunidades de negocio - empleo

## 3.6. Modelo de negocio

**Tabla I –** Viabilidad económica modelo de negocio Surplus Mall. Estudio TIR.

| TIR por escenario | Probable (Interés 2,20%) | Optimista (Interés 2,75%) | Pessimista (Interés 1,65%) |
|---|---|---|---|
| Caso de negocio 1 | 19,02% | 75,06% | - |
| Caso de negocio 2 | 23,49% | 75,14% | - |
| Caso de negocio 3 | - | 5,10% | - |




CASOS DE NEGOCIO VIABLES, TIR POSITIVA

DESPLIEGUE ESCALONADO A NIVEL EUROPEO : 1ª FASE ESPAÑA, ITALIA, FRANCIA

## 3.7. Retos clave

- Asegurar una **gran cantidad de usuarios que confían en la plataforma y garantizar su lealtad**: estrategia comercial adecuada, campañas informativas y de sensibilización.

- Las industrias consultadas y las partes interesadas destacaron la necesidad de **materiales de alta calidad, si es posible, acreditados con certificados**.

- **Transición regulatoria para adoptar los principios y estrategias de la UE en materia de economía circular (EN PROCESO) :**
  - Unificación de normas y conceptos y normalización de criterios de clasificación específicos (Definición de criterios de fin de residuo para identificar materiales secundarios y subproductos, distinta fiscalidad autonómica…)
  - Facilitar el transporte de desechos entre regiones.
  - Optimizar y armonizar los procedimientos administrativos.

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

ITE
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ENERGÍA

aee
The Association of Energy Engineers
Spain Chapter

www.aeespain.org

# Nuevos modelos de negocio para la economía colaborativa y circular: Intercambio y gestión sostenible del excedente industrial

**L. Martín[1], J. C. Díaz[1], A. Mocholí[1], A.Quijano[1,2], U. Mencherini[3], F. Passarini[4]**

1 Instituto Tecnológico de la Energía (ITE), Avda. Juan de la Cierva, 24, Paterna, Valencia. 46980. observatorio@ite.es
2 ITE, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, Valencia. 46002.
3Aster S.Cons.p.A., Italy
4 Departamento de química industrial "Toso Montanari", Universidad de Bologna, Italia.

**Resumen:**

Uno de los retos que enfrentan las estrategias de transición energética es cómo reducir el impacto ambiental asociado a las cadenas productivas. Dentro de esta línea, se han desarrollado diferentes planes de economía circular cuyo objetivo principal es generar cadenas de valor bajas en carbono y reducir la generación de excedentes industriales, mediante la promoción de la reutilización y la revalorización de materiales y energía, reduciendo así las necesidades de materias primas. Entre las prioridades del "paquete de economía circular" de la UE, se han trazado estrategias que apuntan a promover la simbiosis industrial, convirtiendo el subproducto de una industria en materia prima de otra industria, impulsando el mercado de materiales secundarios.
SURPLUS MALL promueve un modelo sostenible e innovador orientado a favorecer conexiones intersectoriales entre todos los agentes involucrados en las acciones de intercambio, comercialización y gestión de residuos industriales, fomentando las prácticas de simbiosis industrial y economía colaborativa y potenciando el mercado de materias primas secundarias. El modelo se soporta en una plataforma digital para facilitar y agilizar el intercambio de información, el contacto entre las partes interesadas y la materialización de las transacciones, así como fomentar modelos logísticos y de gestión sostenibles a través del uso de indicadores medioambientales.

**Palabras clave:** economía circular, simbiosis industrial, plataformas colaborativas, producción sostenible, residuos industriales.

## 1. INTRODUCCIÓN

La actividad industrial es considerada como un área prioritaria en las estrategias internacionales de lucha contra el cambio climático y desarrollo sostenible debido a su impacto medioambiental: 1. Uso intensivo de recursos y materias primas que origina sobreexplotación y agotamiento de reservas, degradación de ecosistemas, pérdida de resiliencia y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI); 2. Producción masiva de flujos residuales que ocasionan contaminación, riesgos para la salud y pérdida de materiales valiosos y de la calidad de los sistemas naturales. Así es necesario transformar los sistemas de producción tradicionales en modelos sostenibles y circulares, con un consumo eficiente y responsable, bajas emisiones y residuos, y que mantengan el valor de productos y materiales en la economía. Sin menoscabo de su crecimiento económico y competitividad.

Por ello, es imprescindible poner en marcha modelos innovadores alineados con hojas de ruta europeas para la producción sostenible ("Europa eficiente en el uso de los recursos"; "economía hipo carbónica competitiva en 2050"; "economía circular"; "clima y energía para 2030/50") dirigidos a reconvertir y modernizar los modelos actuales, generando entornos industriales más avanzados, productivos y respetuosos con el medioambiente.

En este contexto nace la necesidad de iniciativas que promuevan el "balance energético y residual cero" y la economía colaborativa, circular y de proximidad, apoyados en el uso de tecnologías

avanzadas de industria 4.0., con el objetivo final de contribuir en la mejora del desarrollo energético, medioambiental y socioeconómico del sector industrial. Concretamente, la propuesta desarrollada facilitará la reutilización y la puesta en valor de recursos y excedentes una vez dejan de ser aprovechables para quién los genera, de forma que puedan ser reintroducidos en las cadenas productivas alargando su vida útil. Asimismo, se potenciarán las relaciones comerciales y colaborativas a escala local, favoreciendo las acciones de simbiosis industrial de menor impacto climático y mayor beneficio socioeconómico.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

SURPLUS MALL es un proyecto europeo cofinanciado por Climate KIC orientado al desarrollo e implementación de un modelo de negocio B2B dirigido a la comercialización y el intercambio sostenible de excedentes industriales y servicios asociados a nivel europeo. Este nuevo modelo de negocio, alineado con las estrategias internacionales en producción sostenible y economía circular, facilitará la valorización y reintroducción de excedentes, materiales y recursos residuales en las cadenas de valor productivas con la consecuente reducción del impacto ambiental asociado al ciclo de vida de los productos y la mejora de la competitividad de las empresas.
El modelo se apoya en la utilización de una plataforma de comercio electrónico que dará soporte a las transacciones, facilitará estrategias innovadoras para el aprovechamiento y valoración de los recursos residuales, y ofrecerá indicadores ambientales para priorizar aquellas acciones que resulten más respetuosas; siendo el fin último promover un nuevo modelo de economía circular y colaborativa entre empresas que permita reducir el impacto ambiental del sector productivo y logístico y mejorar su rendimiento.

**Figura 1.** Concepto plataforma Surplus Mall. Fuente. Proyecto Surplus Mall.

Su viabilidad se ha analizado, desarrollado y validado durante las anualidades 2017 y 2018, contando con la participación de distintas entidades europeas tecnológicas, ambientales y empresariales, centrándose el análisis en dos áreas prioritarias respecto a su impacto climático: químicos y metales. Específicamente la “Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos (2011)” [1] cataloga a los metales y químicos como materias primas críticas que requieren una gestión más eficiente y circular. Además, el "Plan de Acción de Economía Circular (2014-2019)"[2] promueve estrategias orientadas a la gestión sostenible de componentes de valor, como químicos y metales, en el ciclo de vida de productos críticos, como los RAEE. Más allá de la especialización hacia sectores considerados clave, el alcance final de la plataforma será

multisectorial, con el objetivo de transformar los sistemas productivos de forma íntegra, independientemente del sector o la cadena de valor.

## Metodología

Durante la primera fase de proyecto (2017) se llevó a cabo el estudio de demanda y viabilidad, centrado en dos países europeos (Italia y España), específicamente en las regiones de Emilia Romagna y Comunidad Valenciana. Para ello, se emitieron más de 1500 encuestas a industrias sectoriales, incluyendo cuestionarios dirigidos a tres perfiles según los distintos tipos de usuario de la plataforma: Perfil 1-generadores de excedentes; Perfil 2 – demandantes de excedentes; Perfil 3 – agentes intermediarios. La información solicitada fue tanto cuantitativa (cantidad de residuos generados, porcentaje de residuos reutilizados, porcentaje de materia prima que podría ser reemplazada por materiales secundarios, costos de gestión, etc.) como cualitativa (tipología de materiales, frecuencia de generación, interés en la plataforma, riesgos, barreras, sugerencias, etc). Además, se identificaron barreras legales, funcionales y económicas que pudieran dificultar la puesta en marcha y éxito de la plataforma, tomando de base, entre otros, la experiencia de uno de los socios (WBCSD) con proyectos desarrollados en Estados Unidos en esta línea. [3]

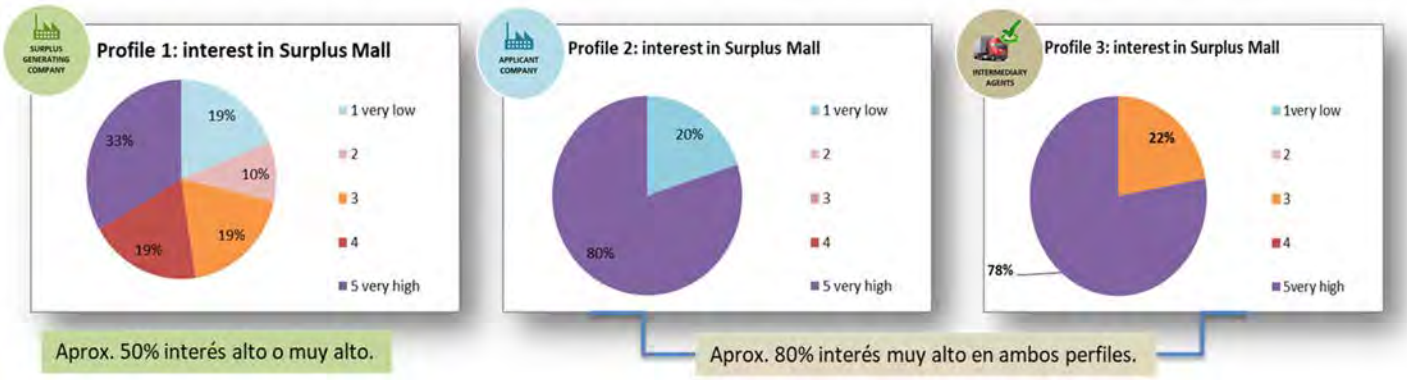



**Figura 2.** Resultados proceso consulta. Interés en la plataforma. Fuente. Proyecto Surplus Mall.

Con la información recopilada y los resultados obtenidos en eventos de cocreación realizados con potenciales usuarios de la plataforma (entidades logísticas, empresas de reciclaje, consultorías ambientales, transportistas y gestores, asociaciones y parques empresariales), se definió un primer modelo de negocio basado en diferentes reglas operativas y escenarios probabilísticos, analizando su rentabilidad en un horizonte de 5 años. Asimismo, se plantearon las especificaciones iniciales de la herramienta, adaptando funcionalidad y diseño a los requisitos y necesidades identificadas.

La segunda fase de proyecto se desarrolló en el segundo semestre de 2018 con el objetivo de validar el modelo de negocio y definir la estrategia para llevar SurplusMall al mercado. A continuación se muestra la matriz DAFO resultado del proceso de validación.

**Figura 3.** Matriz DAFO Surplus Mall. Fuente. Proyecto Surplus Mall.

## 3. DESCRIPCIÓN DE LA PLATAFORMA

Como se ha indicado anteriormente, SurplusMall es una plataforma de comercio electrónico para el intercambio de excedentes industriales (excedentes, subproductos, materias secundarias, recursos) y contratación de servicios asociados, basada en estrategias de economía circular. Ésta pondrá en contacto a empresas generadoras y demandantes de excedentes y terceras partes que apoyen la logística, la gestión y el control, así como otros servicios de valor añadido tales como asesoramiento técnico-legal o I+D.
El intercambio de excedentes entre empresas permite reducir el consumo de materias primas y la generación de residuos, conllevando la reducción del impacto ambiental asociado al ciclo de vida de los materiales y la reducción directa de emisiones de gases de efecto invernadero en línea con los conceptos “cadenas de valor carbono cero” (zero carbon value chains) y “sistemas cero residuos” (zero waste systems).

## Modelo de operación y negocio

La plataforma promueve un modelo sostenible e innovador orientado a favorecer conexiones intersectoriales entre todos los agentes involucrados en las acciones de compra-venta y gestión de residuos industriales, fomentando las prácticas de simbiosis industrial y potenciando el mercado de

materias primas secundarias. La plataforma incluirá indicadores medioambientales como criterios de decisión clave a la hora de realizar las transacciones, así como fomentará el transporte sostenible de los materiales.

**Figura 4.** Modelo operativo de Surplus Mall. Fuente: Proyecto Surplus Mall ITE.

Las empresas que dispongan de excedentes que puedan ser aprovechados por otra empresa (industria o gestor) los ofertarán en el servicio, así como aquellos interesados en subproductos o materias secundarias podrán realizar las pertinentes demandas. La compra de materiales podrán realizarla directamente usuarios finales (otra industria) o agentes intermediarios de gestión, facilitando, además del reaprovechamiento, la gestión agregada y conjunta de residuos. Del mismo modo, se podrán contratar servicios adicionales para complementar las transacciones, tales como logística, transporte, tratamiento, certificación, consultoría o servicios de I+D.

Respecto al modelo de negocio, las principales partes interesadas serán (1) industrias, (2) empresas de gestión de residuos, (3) servicios de transporte y logística, (4) servicios adicionales de valor añadido (certificación, consultoría, I+D+i, financiación, mercado de carbono, otros), (5) operador y gestor de la plataforma, (6) desarrollo y mantenimiento de la plataforma y (6) entidades de difusión (canales).

**Figura 5.** Modelo de negocio Surplus Mall. Fuente: Proyecto Surplus Mall ITE.

En este modelo de negocio, la gestión de la oferta / solicitud está a cargo de los usuarios; La plataforma será lo más autogestionada posible para reducir los costos de administración, con un modelo de administración similar al de los sitios web populares de compras y subastas en línea.

## Funcionalidad e innovación

Actualmente, empiezan a surgir plataformas comerciales dirigidas a facilitar el mercado de materias secundarias y subproductos. Surplus Mall, a diferencia de las existentes, resulta innovador debido a que: (1) presenta un enfoque internacional y multisectorial, abarcando todo tipo de recurso potencialmente reutilizable, aunque especializándose en áreas críticas (metales, químicos y plásticos), (2) da cabida a todos los actores que intervienen en los procesos de intercambio y valoración, jugando los gestores de residuos y empresas de logística un papel clave, (3) integra indicadores ambientales como herramienta de soporte a la toma de decisiones, (4) promueve nuevas estrategias innovadores para el reaprovechamiento y la simbiosis industrial, además se propone recompensar a los usuarios activos con sellos verdes u otros incentivos para impulsar estas acciones, (5) se dirige íntegramente a reducir el impacto medioambiental y climático, y por tanto la huella de carbono de las cadenas de valor productivas, permitiendo su cálculo (Surplus Mall dará prioridad al transporte sostenible y los modelos logísticos, teniendo en cuenta, por ejemplo, los vehículos menos contaminantes, las rutas más cortas, los puntos de concentración, los sistemas de gestión conjunta, las cargas óptimas, entre otros), (6) ofrece funcionalidades avanzadas e inteligentes para los usuarios, que facilitan la operación y el logro de transacciones exitosas (búsqueda inteligente, categorización sistematizada de excedentes, indicadores y recomendaciones...).

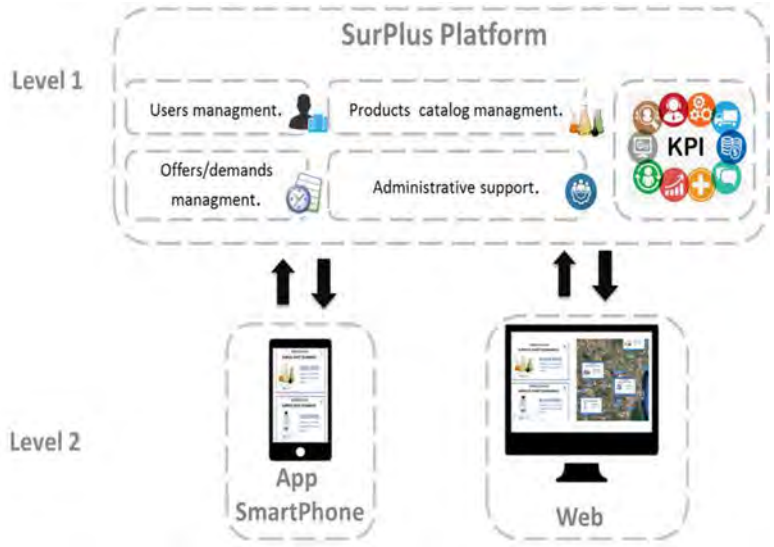



**Figura 6.** Diseño inicial arquitectura. Fuente: Surplus Mall

Además, el modelo abre nuevos nichos de mercado y oportunidades en el campo de la simbiosis industrial, por ejemplo, identificando la necesidad de nuevas tecnologías y procesos para dar respuesta a ofertas y demandas no cubiertas. Así como promueve el uso de las TIC en el sector industrial, en línea con los planes industriales de digitalización y los conceptos de la industria 4.0.

## 4. RESULTADOS: VIABILIDAD E IMPACTO.

Las primeras etapas de proyecto concluyeron con buenos resultados respecto a la viabilidad técnico-económica del nuevo modelo de negocio, así como en relación al impacto positivo derivado del uso de la plataforma en términos ambientales (reducción demanda de materias primas, generación de residuos y emisiones GEI) y socioeconómicos, habiéndose analizado la implementación de la

solución en dos regiones europeas: Emilia Romagna (Italia) y Comunidad Valenciana (España), y para dos de los sectores principales respecto a su contribución al cambio climático: metal y químico.
Resultados del análisis de ciclo de vida muestran una reducción significativa de emisiones de CO2 derivada del uso de materias primas secundarias. La economía de proximidad y priorización de soluciones sostenibles en cuanto a logística y transporte incrementará la mejora medioambiental esperada.

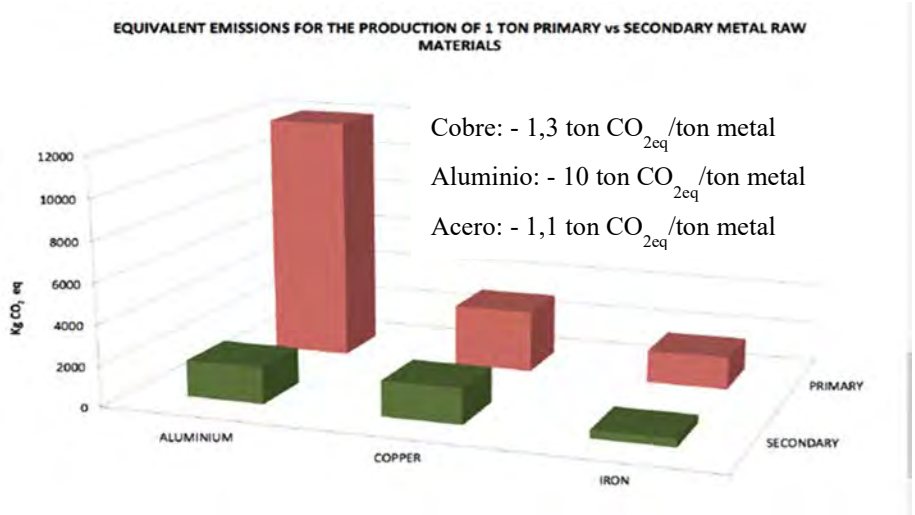



**Figura 7.** Análisis ciclo de vida comparativo materias primas y secundarias. Emisiones TonCO2eq principales metales. Fuente: Surplus Mall

Además del estudio de metales prioritarios respecto a su utilización e impacto (figura 7), se analizaron otros críticos por su escasez geológica, problemas de riesgo de suministro y uso en productos eléctricos y electrónicos (tales como Indio, Neodimio y Europio). Asimismo, se analizó la mejora ambiental respecto a la reutilización de productos químicos de uso principal y la optimización en el transporte y gestión de residuos. En total, más de 1 millón de TonCO2eq podría reducirse solo en los primeros cinco años de operación de la plataforma de economía circular planteada.

Más allá de la mitigación del impacto climático, Surplus Mall obtendrá otros beneficios ambientales y socioeconómicos, tales como: (1) reducción de la generación de residuos, (2) reducción del consumo de materias primas, (3) reducción general de las emisiones de GEI vinculadas a la actividad industrial, (4) mejora de la sostenibilidad de las empresas (responsabilidad social corporativa) (se esperan más de 10000 empresas durante los primeros 5 años de operación), (5) Mejora de la imagen corporativa y la competitividad de las empresas con sellos por prácticas de economía circular (más de sellos 2000 se esperan durante los primeros 5 años de operación), (6) reducción de las prácticas de gestión inadecuadas llevadas a cabo por gerentes no autorizados, (7) aumento de la transparencia de los precios y transparencia relacionada con las actividades de gestión y comercialización de desechos, (8) mejora de equilibrio económico de las empresas, (9) promoción de prácticas de economía circular y contribución para aumentar la conciencia ambiental, (10) impulsar el mercado europeo de materiales secundarios y subproductos.

En relación a la rentabilidad económica del modelo, de los nueve casos de negocio analizados, cinco mostraron una tasa interna de retorno positiva en un horizonte de cinco años, tal y como muestra la siguiente tabla:

| TIR por escenario | Probable (Interés 2,20%) | Optimista (Interés 2,75%) | Pessimista (Interés 1,65%) |
|---|---|---|---|
| Caso de negocio 1 | 19,02% | 75,06% | - |
| Caso de negocio 2 | 23,49% | 75,14% | - |
| Caso de negocio 3 | - | 5,10% | - |

**Tabla I –** Viabilidad económica modelo de negocio Surplus Mall. Estudio TIR.

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran un escenario muy favorable para el desarrollo y despliegue de la plataforma propuesta, ya que: (1) existe un mercado potencial de destino con tendencias positivas y pequeños competidores, (2) hay un gran volumen de usuarios potenciales, (3) hay una gran cantidad de excedentes disponibles para ser reutilizados, (4) hay muchas asociaciones y agrupaciones empresariales que, unidas a organismos públicos, podrían llevar la herramienta a los usuarios finales, (5) el concepto está bien alineado con las estrategias, políticas y regulaciones europeas vigentes, (6) los estudios de caso analizados demuestran un impacto positivo con una reducción considerable de las emisiones de GEI, (7) los procesos de consulta atrajeron un gran interés de los grupos objetivo, (8) se demuestra la rentabilidad del modelo en la mayoría de las estrategias comerciales analizadas, así como la oportunidad para generar nuevos nichos de mercado, habiéndose validado junto con potenciales usuarios y operadores de la plataforma.

La transformación de los modelos económicos y productivos actuales es una prioridad de las estrategias internacionales de lucha contra el cambio climático, pero también representa nuevas oportunidades de negocio para las empresas. Modelos como Surplus Mall permiten reducir el impacto ambiental asociado al ciclo de vida de los productos, pero también mejorar el rendimiento y la competitividad empresarial. La gestión integrada y sostenible de las áreas industriales y empresas posibilitará alcanzar sistemas más eficientes y ecológicos, siendo esencial la involucración de todos los agentes implicados para el desarrollo de acciones circulares reales, así como considerándose clave para facilitar y agilizar estos mecanismos culminar la transición regulatoria para adoptar los principios de las hojas de ruta europeas en materia de economía hipocarbónica y circular.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Surplus Mall es un proyecto financiado por Climate-KIC a través de sus convocatorias Pathfinder y Accelerator y está vinculado al área temática Sustainable Production Systems.

El consorcio, liderado por el Instituto Tecnológico de la Energía, ha contado con la participación de Universidad de Bologona (UNIBO), ASTER y WBCSD. Asimismo, ha colaborado en el desarrollo del proyecto la Federación Valenciana de Polígonos Empresariales (FEPEVAL).

## 7. REFERENCIAS

[1] Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos (2011). Comisión Europea.
[2] Plan de acción de economía circular (2014-2019). Comisión Europea.
[3] MARTÍN, L. et all (2017), “Surplus trading network: a new model of circular economy”. SUN Conference. Rome.

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

16:00 - 18:00

**SESIÓN 3 Track B. ENERGÍAS RENOVABLES y ECONOMÍA SOSTENIBLE**
Modera: Joaquín P. Mas. **GRUPO ENERCOOP**

Proyecto Alcalá ECO Energías.
**Teodorino López**

"Nuevos modelos de negocio para la economía colaborativa y circular: intercambio y gestión sostenible del excedente industrial" **Laura Martín Frax**. Ingeniero I+D+I. **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ENERGÍA (ITE)**

"Objetivo 2030: la descarbonización de Menorca. Transición energética en sistemas insulares" **Ignacio García Belenguer.** Profesor. **CIPFP CATARROJA**

"ECO-GATE: proyecto EDAR Butarque. La UE impulsa el gas renovable" **Jesús Hernández**. Nuevos negocios. **NEDGIA**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# "OBJETIVO 2030 LA DESCARBONIZACIÓN DE MENORCA"

## TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN SISTEMAS INSULARES

Ignacio García Belenguer

CIPFP CATARROJA

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice


1 INTRODUCCIÓN MIX ENERGÉTICO ACTUAL

2 PROPUESTA HOJA DE RUTA DESCARBONIZACIÓN CONSELL DE MENORCA

3 ESTUDIO DEL RECURSO EÓLICO PARA IMPLANTAR MIMI PARQUES EÓLICOS

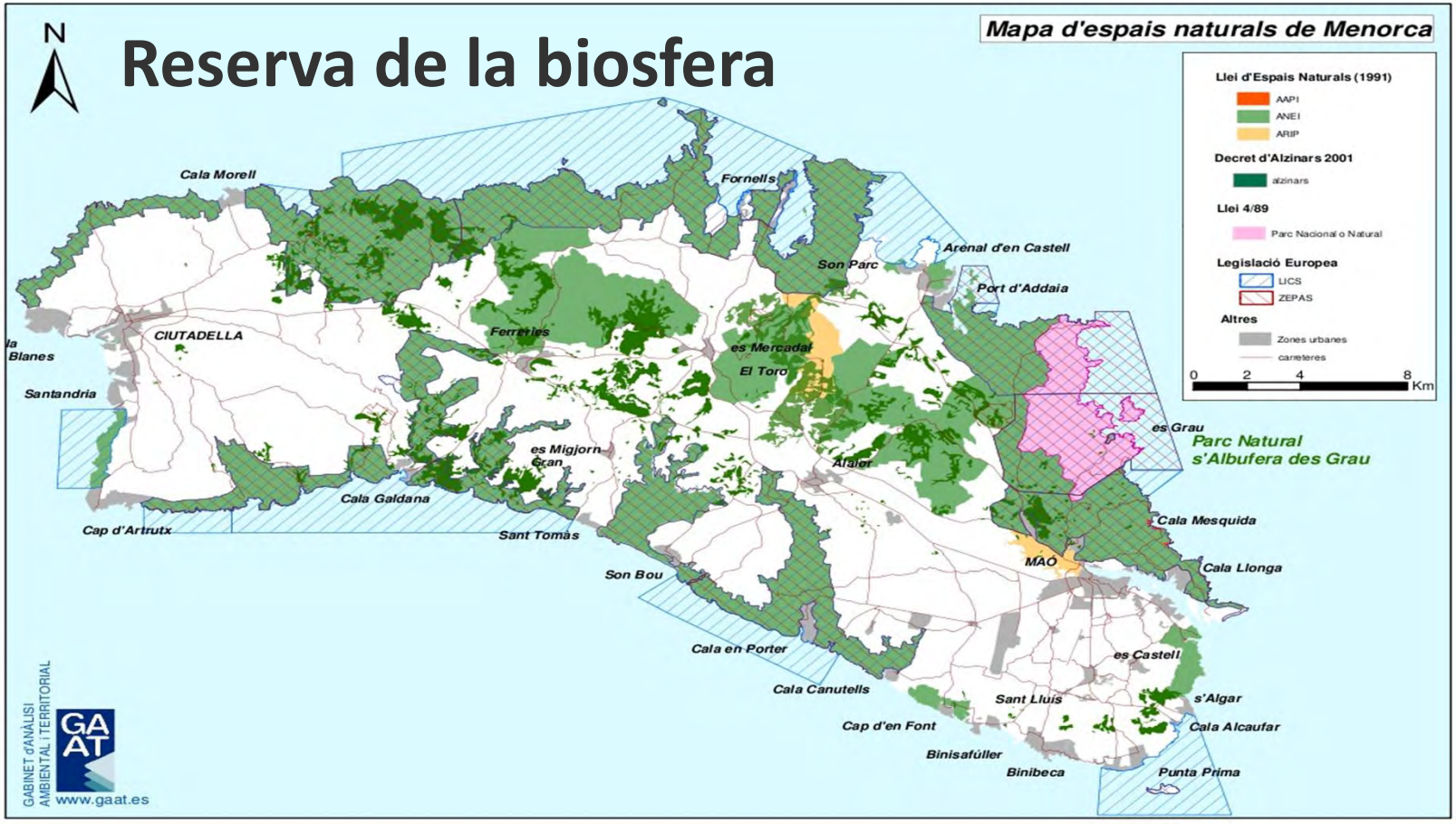
4 ESTUDIO ECONÓMICO PARA IMPLANTAR 35MW EN 5 PARQUES EÓLICOS

5 CONCLUSIONES

# Índice

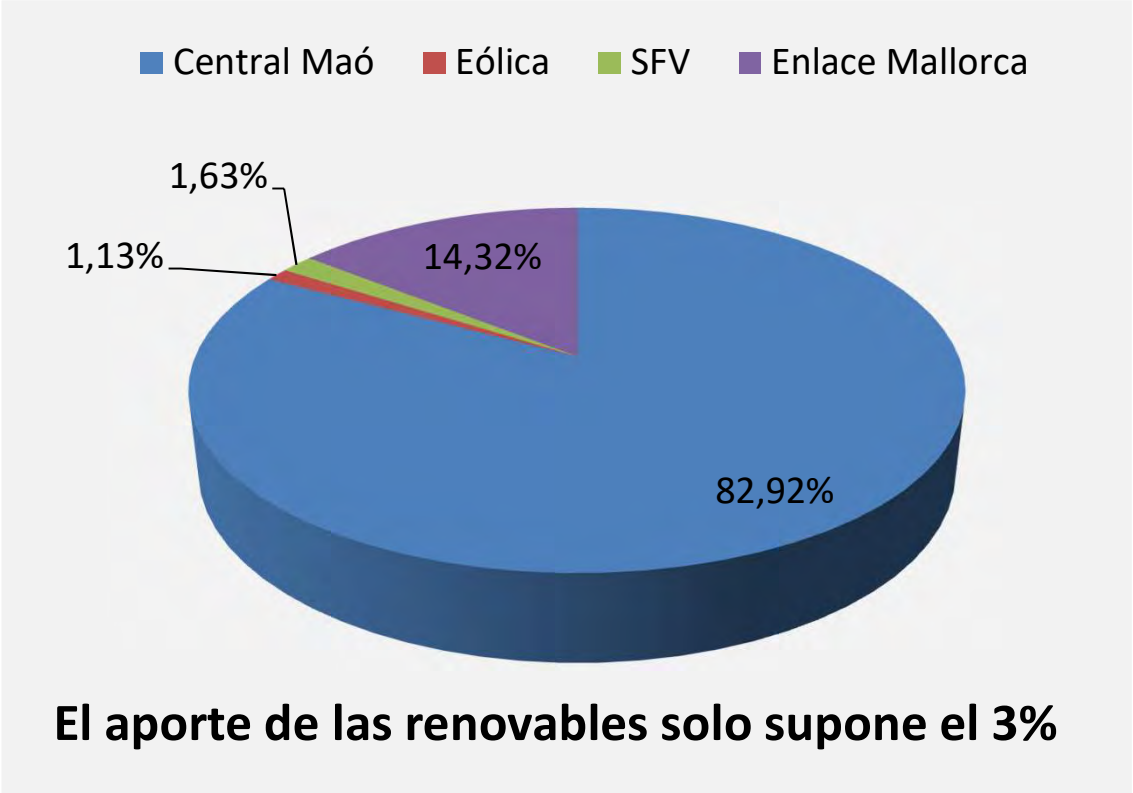
1 INTRODUCCIÓN MIX ENERGÉTICO ACTUAL

- **MENORCA 66,1% DEL TERRITORIO PROTEGIDO**



- **¿MENORCA ES SOSTENIBLE?**
  ¿ESTÁ PREPARADA PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA?

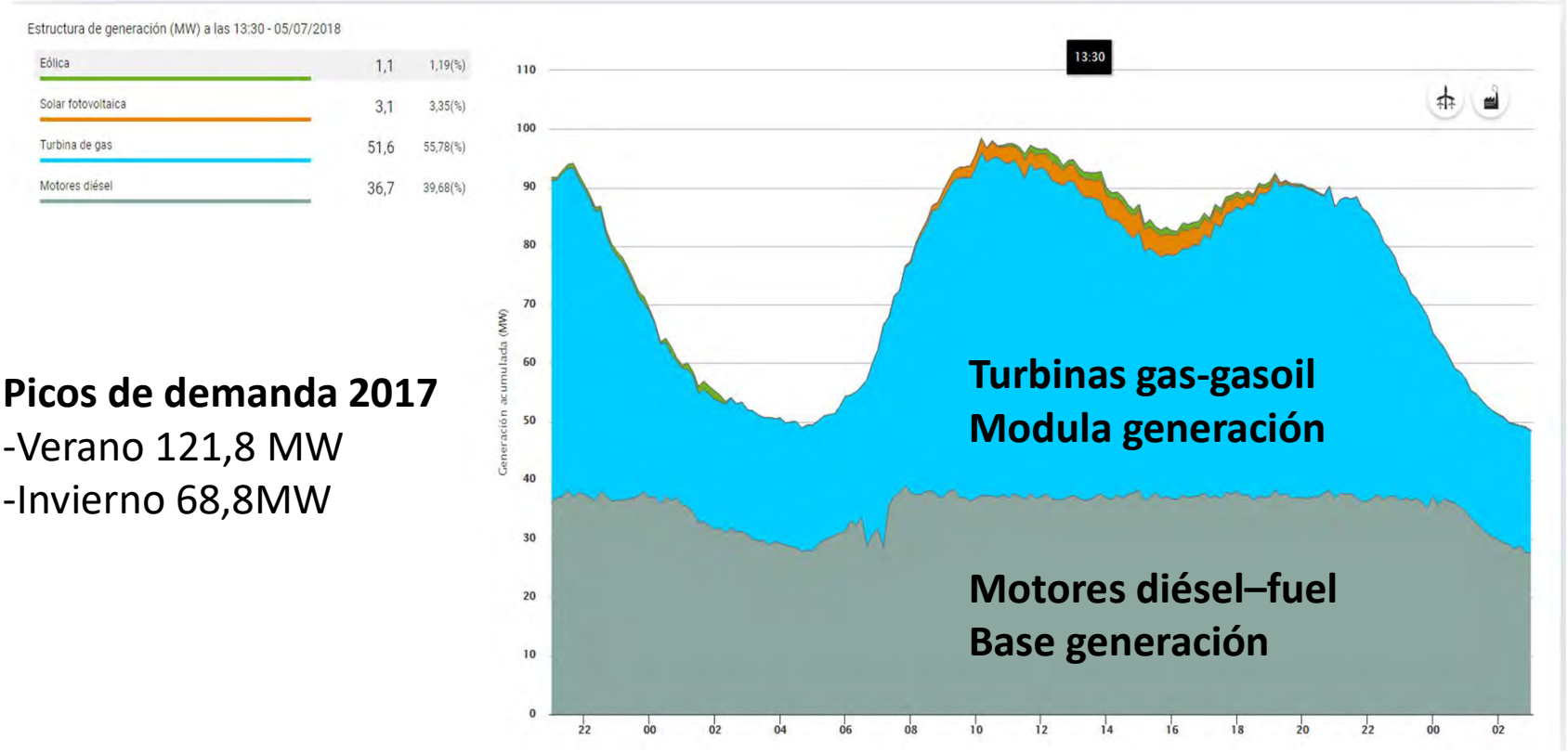
- **MENORCA SUSPENDE EN ENERGÍAS RENOVABLES**




**El aporte de las renovables solo supone el 3%**

El consumo energía eléctrica Menorca en el 2016 es de 460GWh

# • GENERACIÓN MENORCA




**Picos de demanda 2017**
-Verano 121,8 MW
-Invierno 68,8MW

Generación eléctrica Menorca 2018. Fuente: REE

# • SITUACIÓN ACTUAL DE LA CENTRAL DE ENDESA

**Producción eléctrica Central de Maó Menorca 2016**

| Tecnología | Energía (GWh) | % |
|---|---|---|
| Grupos FUELOIL | 250,3 | 52,21% |
| Turbinas G (gasoil) | 147,0 | 30,65% |

**El coste de adaptar la central a la normativa emisiones es de 19M€**

# Índice

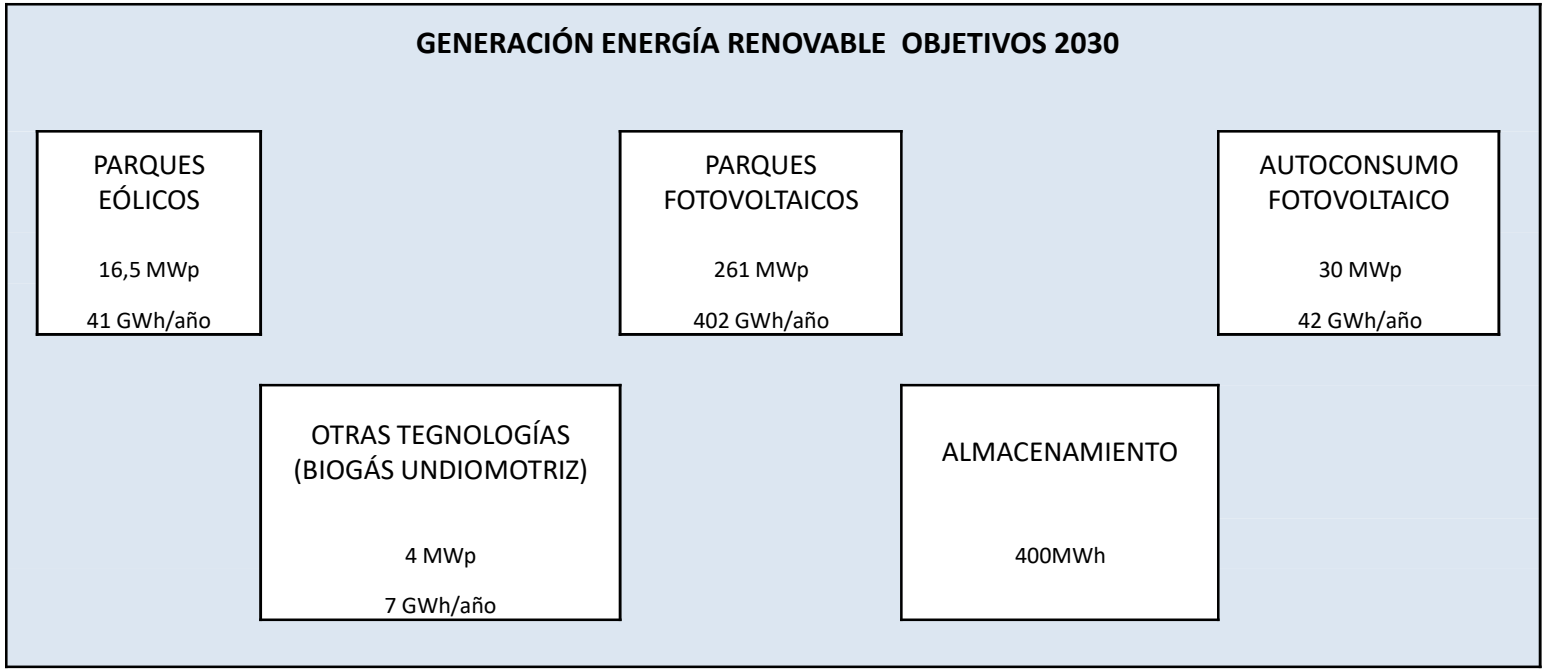

1 INTRODUCCIÓN MIX ENERGÉTICO ACTUAL

2 PROPUESTA HOJA DE RUTA DESCARBONIZACIÓN CONSELL DE MENORCA

- **¿QUEREMOS CAMBIAR EL MIX?**

- Apostar por las energías renovables
- La central de ENDESA en Maó debe gasificarse y pasar a respaldo.
- Lo más importante es disponer del doble enlace con Mallorca

- **HOJA DE RUTA 2030 CONSELL INSULAR MENORCA PARA GENERACIÓN RENOVABLE**




Gran parte de la nueva generación FV será desechada por curtail y tendremos un LCOE alto

- **SE PROPONE REPOTENCIAR EL PARQUE EÓLICO DE ES MILÁ PASANDO DE LOS 3,2MW A LOS 16,5MW**

- **LAS RENOVABLES NO SON GESTIONABLES POR EL OPERADOR DEL SISTEMA REE**

Una disminución de la producción o aumento del consumo nos puede generar problemas en la frecuencia de la red

**NO PODEMOS LIMITARNOS SOLO A REPOTENCIAR ES MILÁ**

Demanda considerada para el cálculo de la penetración de eólica. Fuente: REE. Elaboración: Propia

| MW Punta | MW Valle |
|---|---|
| 149 | 44 |

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

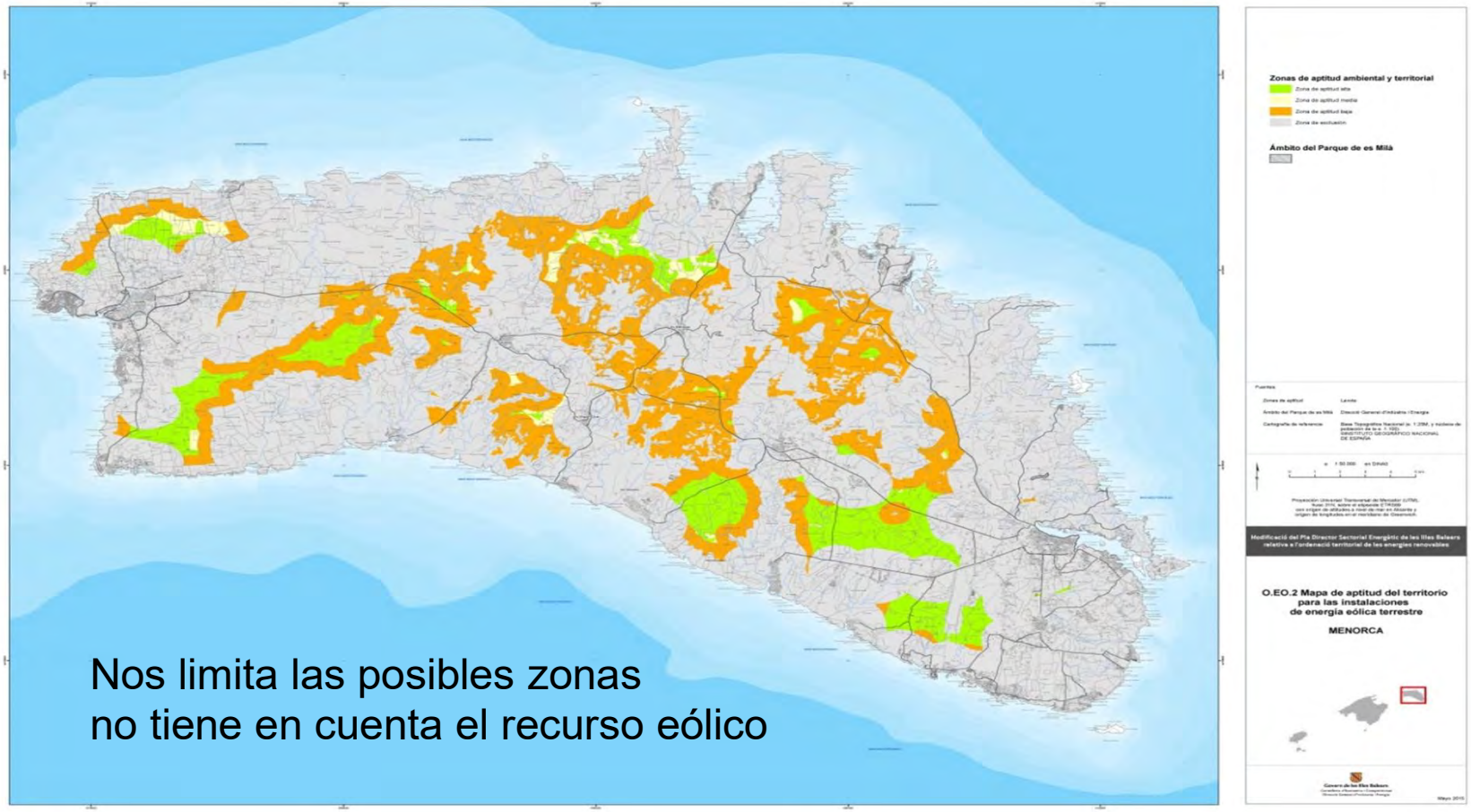
# Índice


1 INTRODUCCIÓN MIX ENERGÉTICO ACTUAL

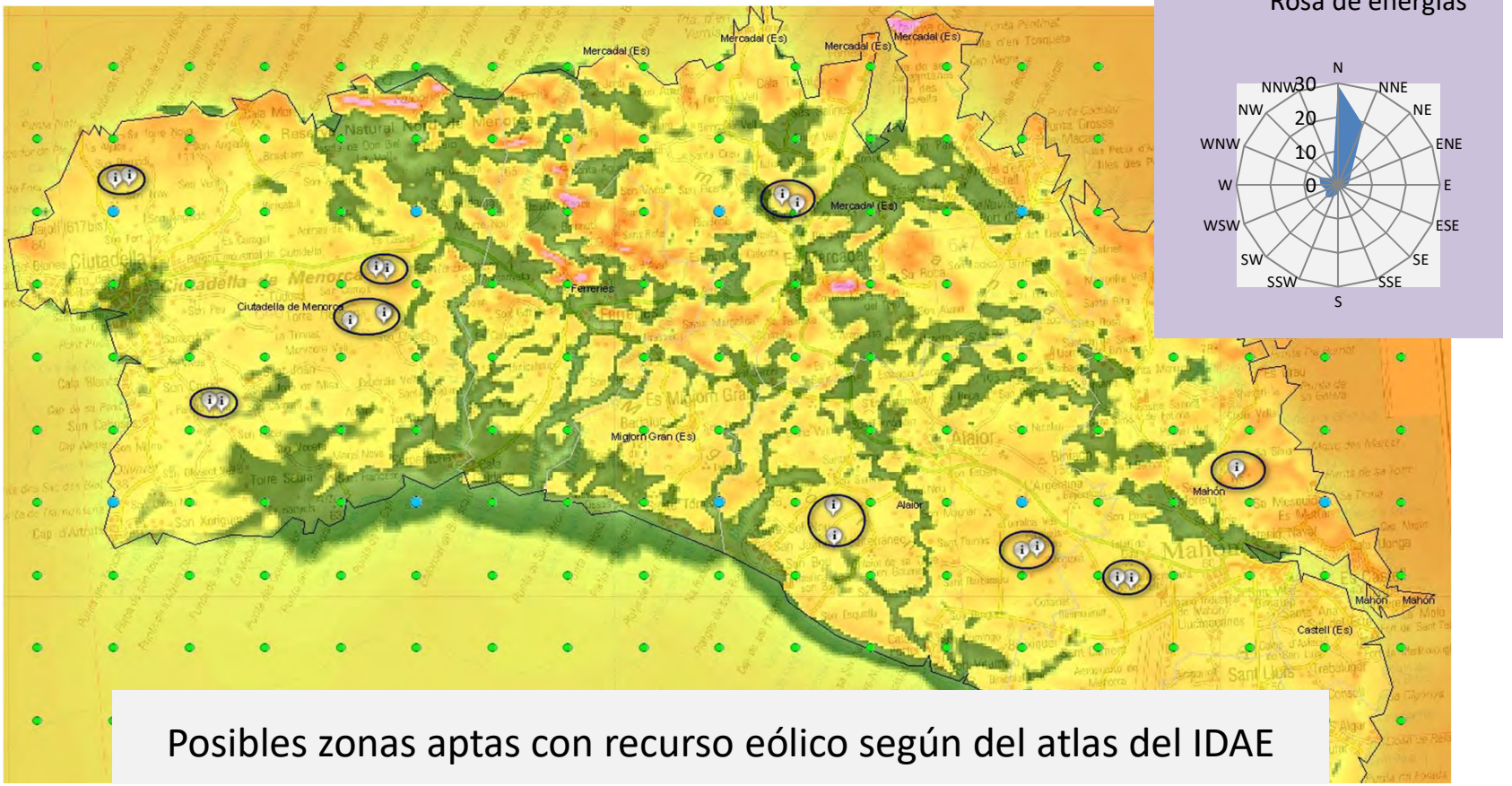
2 PROPUESTA HOJA DE RUTA DESCARBONIZACIÓN CONSELL DE MENORCA

3 ESTUDIO DEL RECURSO EÓLICO PARA IMPLANTAR MIMI PARQUES EÓLICOS

- **MAPA DE APTIDUD EÓLICA**

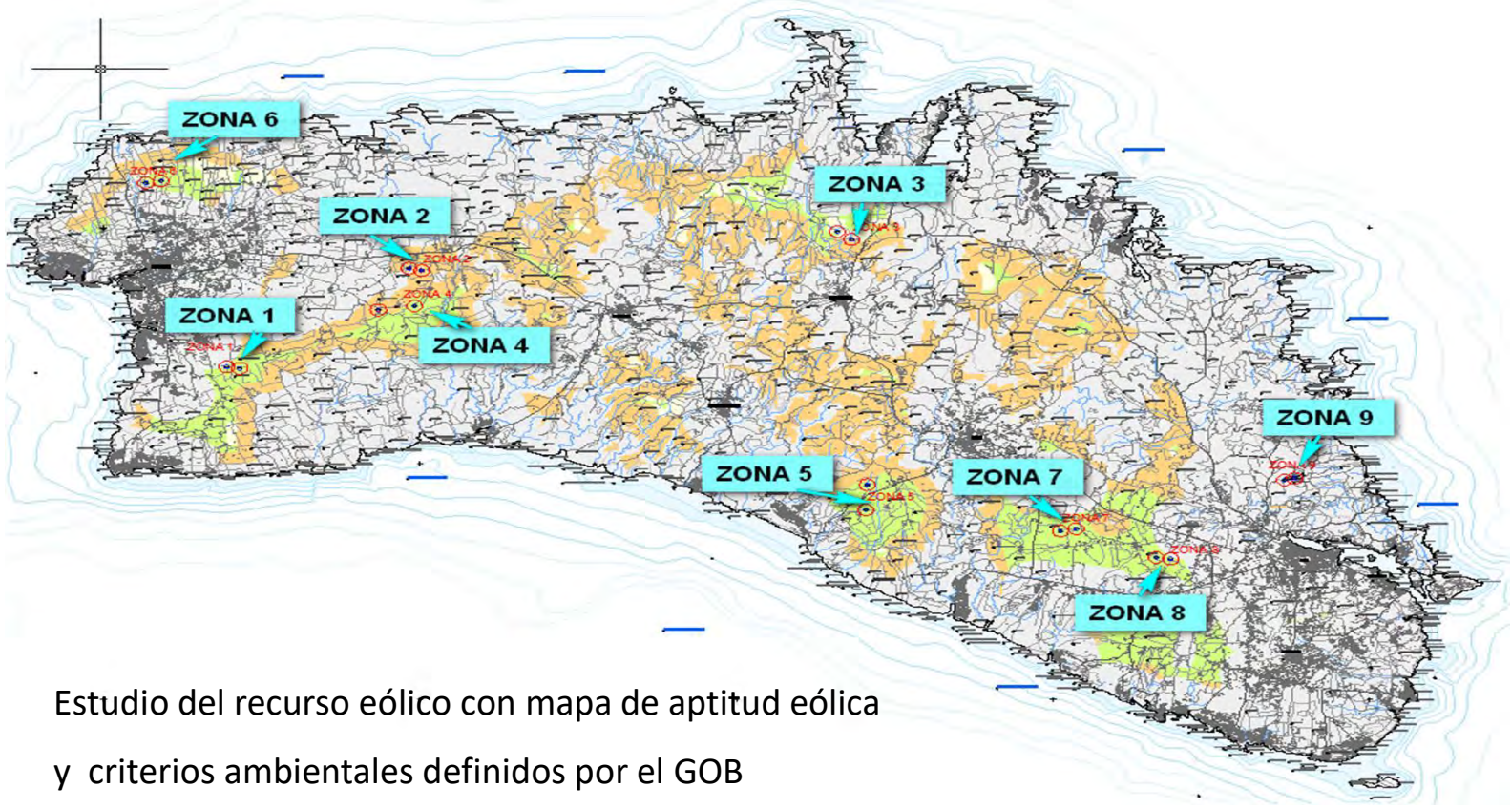


- **ZONAS CON RECURSO EÓLICO**




Posibles zonas aptas con recurso eólico según del atlas del IDAE

- **SELECCIÓN ZONAS PARA MINI PARQUES 8MW**




Estudio del recurso eólico con mapa de aptitud eólica

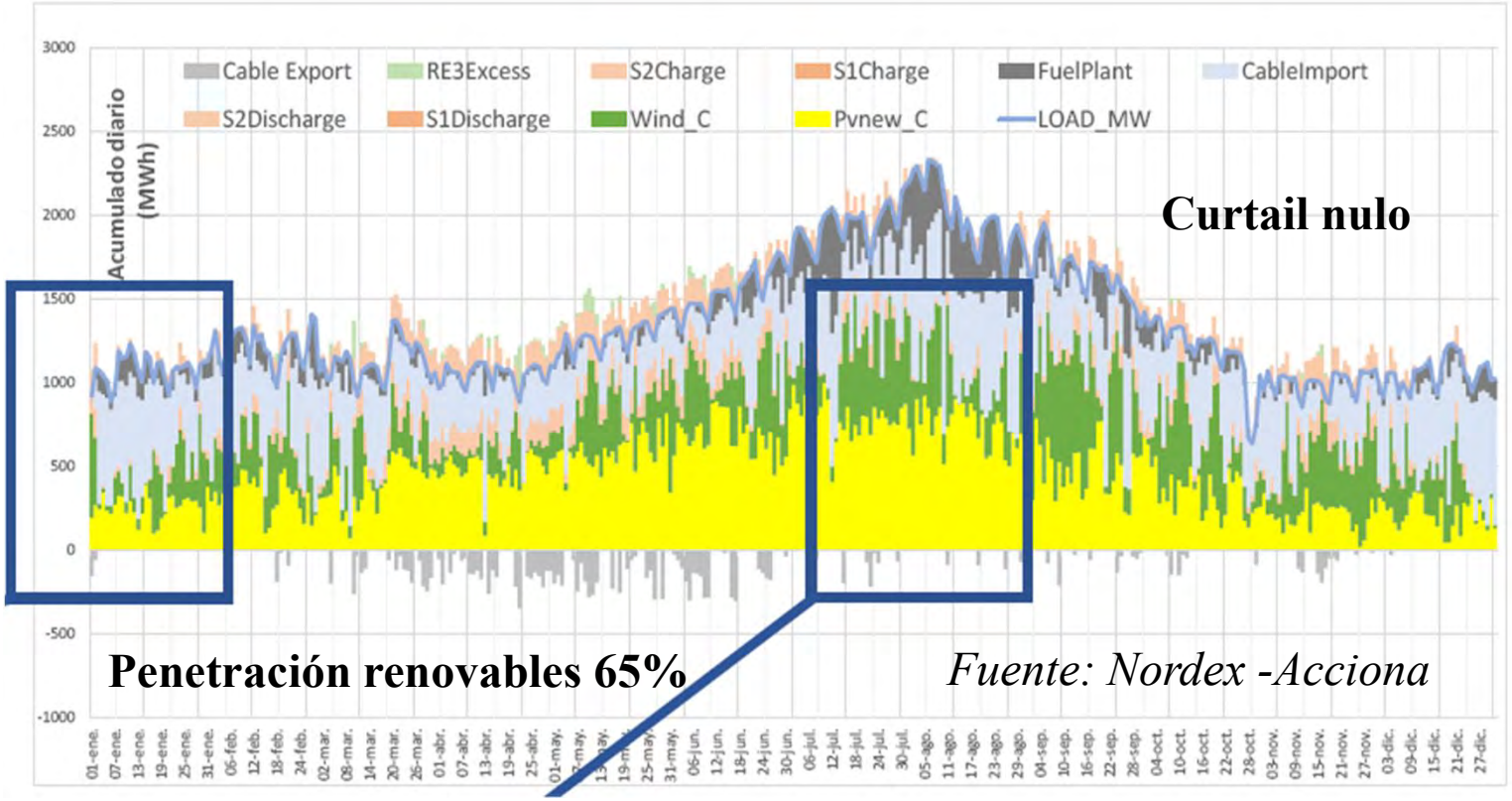
y criterios ambientales definidos por el GOB

# • PROPUESTA ÓPTIMA - GENERACIÓN RENOVABLE

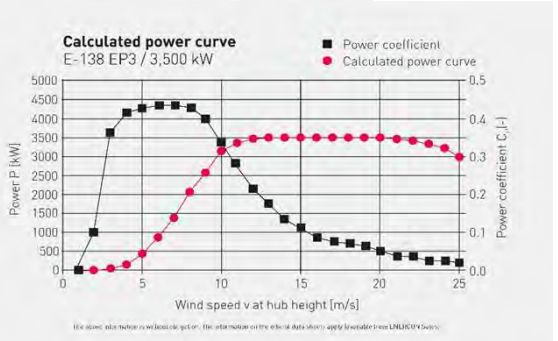
| OPCIÓN PROPUESTA RENOVABLES |
| --- |
| EÓLICA 6-8 MW |
| SOLAR 20 MW |
| ALMACENAJE 20-25MW |
| X 5 |

- **OBJETIVO ALCANZAR UNA PENETRACIÓN DE RENOVABLES ELEVADA**
- **OBTENER UN LCOE ASUMIBLE SIN CURTAIL**
- **RESPETANDO EL TERRITORIO CON LA MINIMA AFECCIÓN MEDIOAMBIENTAL**

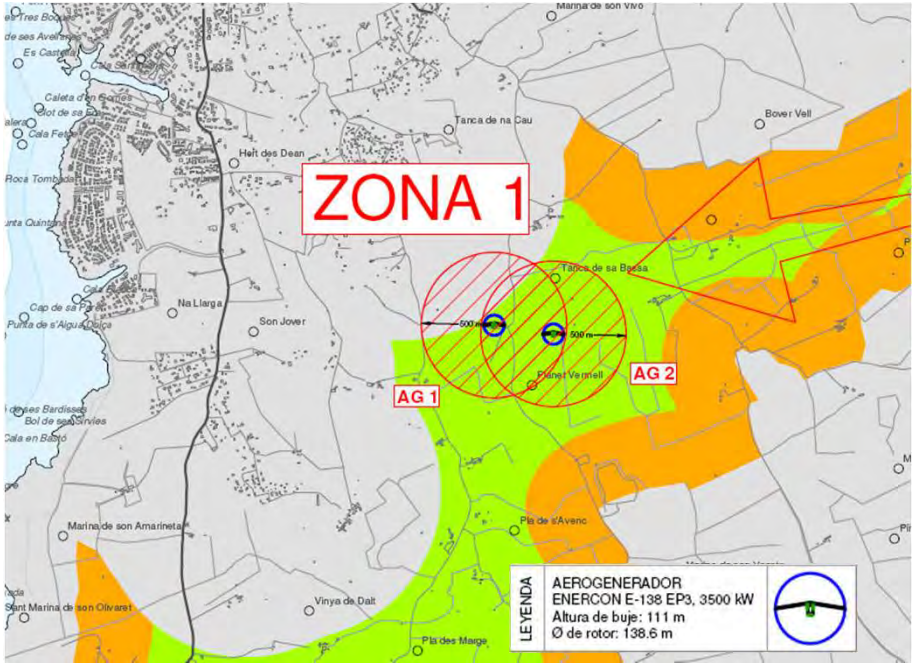
- **PROPUESTA DE 36MW WIND+ 100MW PV +136MWH BESS**



- **PLATAFORMA EP3 AEROGENERADORES**

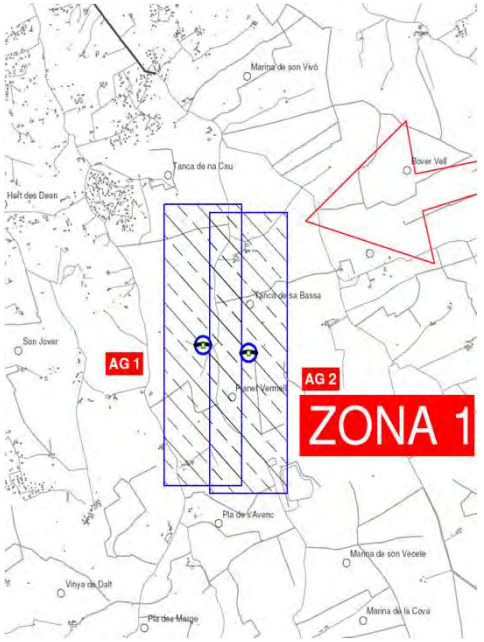


# • ZONA DE SENSIBILIDAD EÓLICA




Importante cumplir 500m de distancia a núcleos habitados y edificaciones

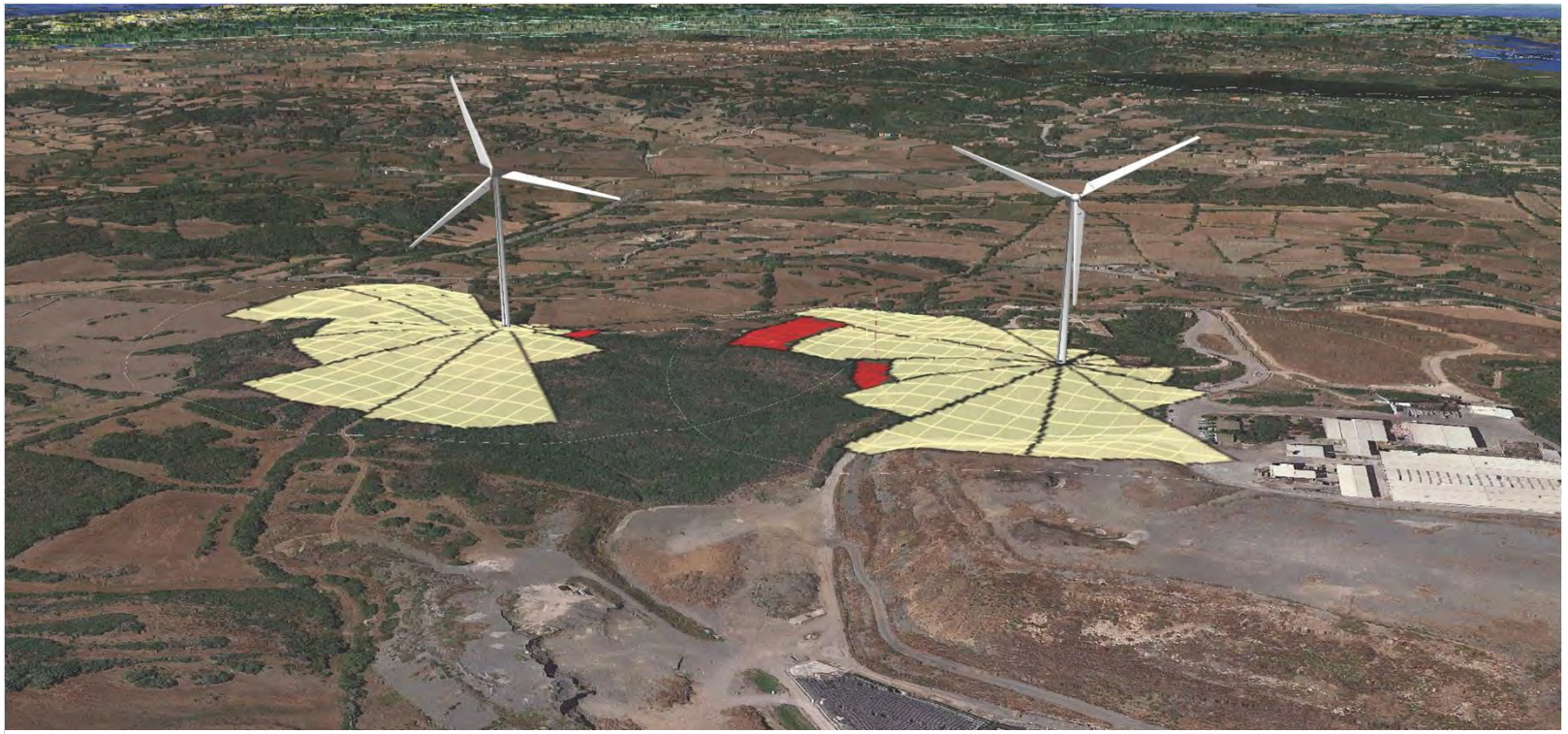
Dos aerogeneradores por zona para poder limitar el impacto ambiental y visual



- **LÍNEA EVACUACIÓN 15kV INTERCONEXIÓN A ST**

LSMT 15kV dedicada por viales y caminos existentes hasta la ST de ENDESA

- **IMPACTO VISUAL NO AMBIENTAL**



**Aerogeneradores con una altura mayor de 100m**

# Índice

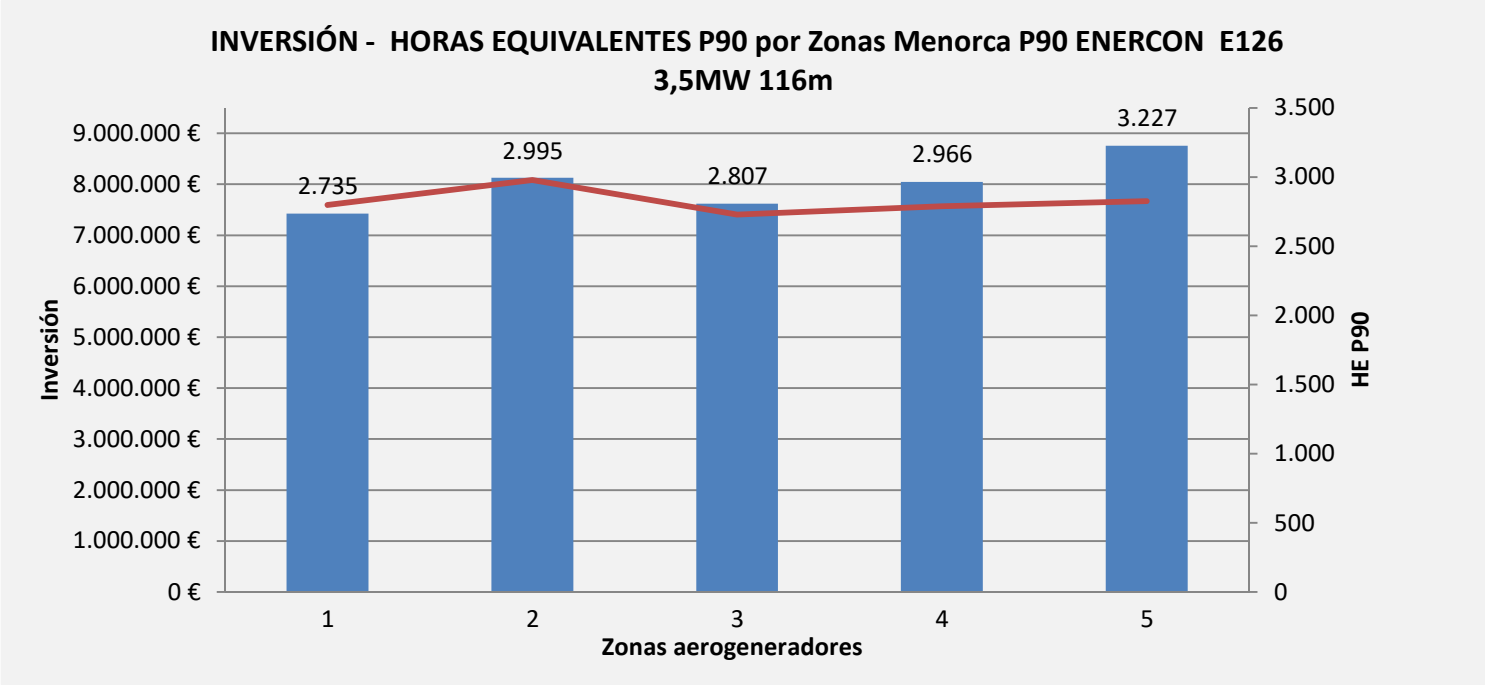

1 INTRODUCCIÓN MIX ENERGÉTICO ACTUAL

2 PROPUESTA HOJA DE RUTA DESCARBONIZACIÓN CONSELL DE MENORCA

3 ESTUDIO DEL RECURSO EÓLICO PARA IMPLANTAR MIMI PARQUES EÓLICOS

4 ESTUDIO ECONÓMICO PARA IMPLANTAR 35MW EN 5 PARQUES EÓLICOS

- **PRODUCCIÓN HE NETAS**




Seleccionamos 5 zonas con una media superior a 2800HE

- **ESTUDIO DE VIABILIDAD ECÓNOMICA PARA 35MW INSTALADOS EN 5 ZONAS**

| CUADRO RESUMEN DATOS DE PARTIDA | | | | | RENTABILIDAD PROYECTO E126 FINANCIANDO 50% | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Total Inversión inicial € | Años amortización | Tasa de descuento VAN | IPC | Precio energía | Modelo | Potencia instalada | PAYBACK (AÑOS) | TIR | VAN |
| 38.324.850 | 30 | 3% | 1,27% | **46** | ENERCON E-126 3,5MW de 116m | 35 | 12,41 | 7,7% | 16.684.472 |
| | | | | **53** | | 35 | 9,91 | 10,0% | 26.335.110 |

**Los parques eólicos en Menorca son rentables**

# Índice


1 INTRODUCCIÓN MIX ENERGÉTICO ACTUAL

2 PROPUESTA HOJA DE RUTA DESCARBONIZACIÓN CONSELL DE MENORCA

3 ESTUDIO DEL RECURSO EÓLICO PARA IMPLANTAR MIMI PARQUES EÓLICOS

4 ESTUDIO ECONÓMICO PARA IMPLANTAR 35MW EN 5 PARQUES EÓLICOS

5 CONCLUSIONES

- **CONCLUSIONES**

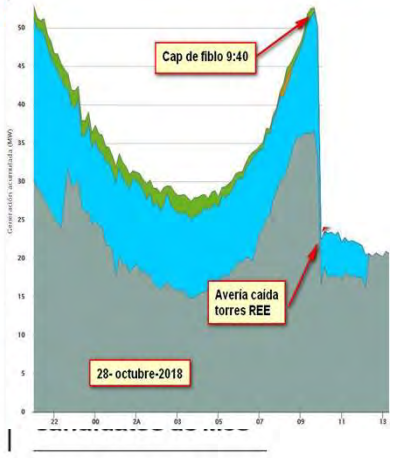
Para garantizar el suministro eléctrico y evitar otro 28 de octubre de 2018

ONCE AÑOS ▶ Plazo fijado para alcanzar el 85 % energía limpia. ■ TEMA DEL DÍA 4

# Menorca necesita más parques eólicos para el reto de renovables 2030

▶ El Consell propone pasar de los 3,2 Mw de producción actual a 30, lo que supone la instalación de unos diez molinos más

▶ La generación de fotovoltaica también deberá multiplicar por 70 la potencia de ahora para poder llegar a los 350 Mw



# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

CIPFP CATARROJA

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# “OBJETIVO 2030 LA DESCARBONIZACIÓN DE MENORCA” TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN SISTEMAS INSULARES

**Ignacio García Belenguer**

Dirección de Autor. Calle Malvarrosa, 6 46410 Sueca Email igbsueca@gmail.

**Resumen:**

Este trabajo surge de la idea de realizar una transición energética en sistemas insulares donde existe gran de pendencia de las energías fósiles. En el modelo planteado se han considerado la protección del territorio y las componentes medioambientales que generan las instalaciones de energías renovables.

El objetivo es alcanzar la descarbonización en Menora en el 2030 con un nuevo modelo energético de generación, pero indicando que las transiciones no se pueden realizar apostando únicamente con una tecnología como la energía solar fotovoltaica, pues necesita una gran extensión de territorio, unos 2ha/MW, comparada con la energía eólica y además se produciría un curtail en la generación por la sobrepotenciación SFV.

La eólica debe jugar un papel clave y necesaria para alcanzar el objetivo del 85% de generación con energías renovables “Clean Energy for UE Islands”. Además, ya dispone de un parque eólico por lo que es totalmente compatible con que Menorca sea reserva de la Bioesfera al igual que la isla de El Hierro.

Para ello se ha realizado un estudio del recurso eólico de Menorca y en las zonas de aptitud eólica existentes. Con todo ello se proponen 3 o 4 mini parques de 8MW con dos máquinas que evacuen en 15kV a las subestaciones.

Este trabajo es parte de un proyecto mayor donde se combinan varias tecnologías generando sistemas híbridos eólicos+solares FV y acumulación con 5-8MW eólicos y 2-4MW SFV y con un almacenaje de 1-2MWh. Ya que, si no es así no se puede alcanzar el objetivo de descarbonización en el 2030, además de evitar el curtail de la SFV y obtener un LCOE óptimo.

Los resultados de este trabajo, en concreto el apartado correspondiente a la energía eólica, han sido incluidos en la hoja de ruta Menorca2030 realizada por el Consell Insular de Menorca.

**Palabras clave:** Transición energética,2030, islas, energía eólica.

## 1. INTRODUCCION

Con este trabajo se quiere crear las bases para descarbonizar el sistema energético de la isla de Menorca. Para ello se ha realizado un balance energético de la isla y se estudian las distintas posibilidades de generación de renovables que nos ofrece la isla. Para este propósito se toma como ejemplo la isla de El Hierro.

Los marcos legislativos de referencia para la descarbonización son el UE Roadmap 2050 y la Ley balear 10/2019, de 22 de febrero, de cambio climático y transición energética, aprobada por el Parlamento de las Islas Baleares.

La elaboración y análisis de su sistema de generación va a ser clave ya que comprobamos el papel irrelevante que actualmente tienen las energías renovables. Y esto nos va servir de punto de partida para buscar una solución donde la energía eólica va a tener un papel fundamental, dado el recurso eólico de la isla.

## 2. DATOS DE PARTIDA - BALANCE ENERGÉTICO

### Un entorno natural compatible con los recursos renovables

Menorca es Reserva de la Biosfera desde 1993, además cuenta con un patrimonio histórico muy importante lo que supone que un 66,1% de su territorio este protegido. Pero a la vez su situación geográfica la hacen idónea para la implantación de plantas de energías renovables tanto SFV, parques eólicos, aprovechamiento de la biomasa e incluso undimotriz.

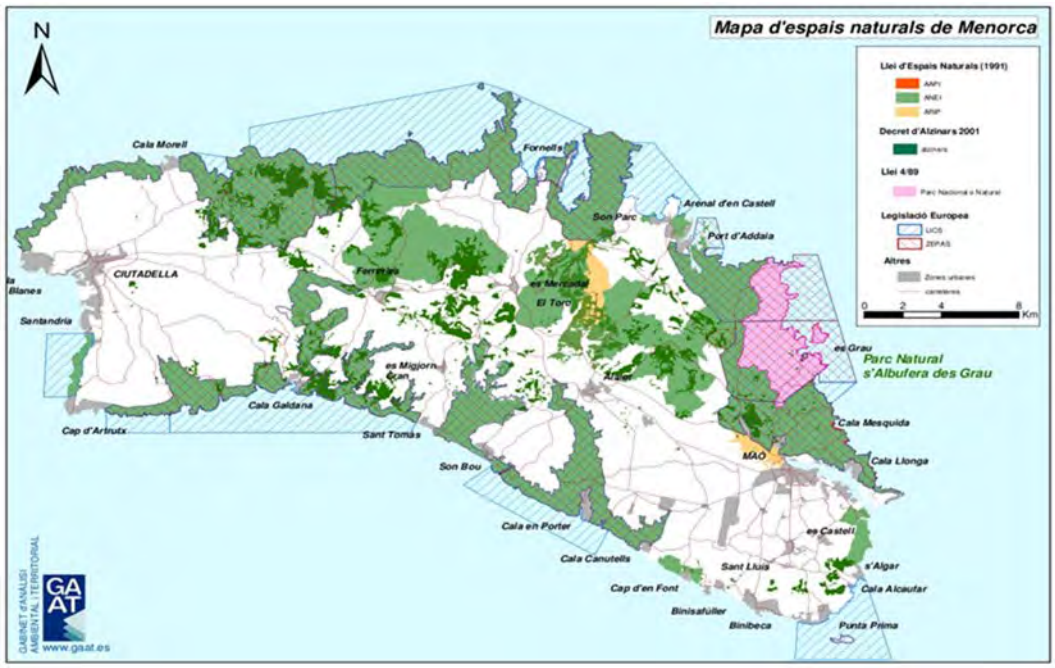



**Figura1.** *Mapa espacios naturales de Menorca. Fuente: Consell Insular de Menorca*.

A la hora de plantear la capacidad de generación energética renovable de la isla hay que tener en cuenta que los impactos generados no superen los beneficios obtenidos y por ello todos los habitantes de Menorca deben ser conscientes que cualquier nueva instalación de generación de energía, aunque sea de energía renovable va a generar un impacto que deberán asumirlo si se desea alcanzar los objetivos marcados de descarbonización de la isla para el 2030.

### Mix-balance energético

Actualmente el mix energético para la producción de energía eléctrica en Menorca se basa en la utilización de combustibles fósiles. Este modelo es insostenible y altamente ineficiente, por lo tanto debe ser modificado y ver de qué modo es modificado mediante las energías renovables es parte del objeto de este trabajo.

En la siguiente tabla se desglosa los 276MW de la potencia de generación eléctrica total instalada en la isla de Menorca en el año 2016 y también se desglosa la demanda de energía eléctrica en el año 2016 que es de 479,4GWh. Esta demanda se satisface en un 95,4% mediante fuentes no renovables lo que supone unas emisiones de CO2 a la atmósfera de 358.582 toneladas.

**Tabla I.** *Resumen mix energético generación electricidad actual en la isla de Menorca.*

| Producción eléctrica en Menorca 2016 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Tecnología** | **Potencia (MW)** | **Energía (GWh)** | **Total (GWh)** | **%** | **%** |
| Grupos FUELOIL | 47,4 | 250,3 | | 52,21% | |
| Turbinas G (gasoil) | 221,0 | 147,0 | 397,3 | 30,65% | 82,9% |
| **Eólica** | 3,2 | 5,4 | | 1,13% | |
| **Fotovoltaica** | 4,3 | 7,8 | 13,2 | 1,63% | **2,8**% |
| Conexión Ma-Me | | 68,9 | 68,9 | 14,37% | 14,4% |

El Govern Balear tiene como objetivo prioritario reducir la dependencia de las energías fósiles y para ello el primer paso es el cambio de combustible de la central de GESA-Endesa a gas natural en las turbinas de gas que actualmente están funcionando con gasoil para mantenerlas como instalaciones de respaldo y desmantelar los grupos de Fueloil.

Estas acciones servirían para avanzar hacia los objetivos del 2030 y mantener la calidad y seguridad del suministro mientras se finalizan las obras del enlace con Mallorca y las nuevas instalaciones de generación renovables.

**Cobertura demanda de energía eléctrica diaria según la fuente de generación.**

Al realizar un estudio sobre demanda energética en Menorca hay que tener en cuenta la estacionalidad del consumo debido al factor del turismo en los meses de verano. Durante el año 2017 los picos de demanda en verano fue el 3 de agosto con 121,8 MW mientras que en invierno pico de demanda fue el día 4 de diciembre con 68,8MW. Estos datos son muy importantes a la hora de dimensionar la potencia de instalaciones de energías renovables.

Como se puede ver en la siguiente imagen de la web de REE los motores diésel generan la energía base de un modo continuo a lo largo del día.

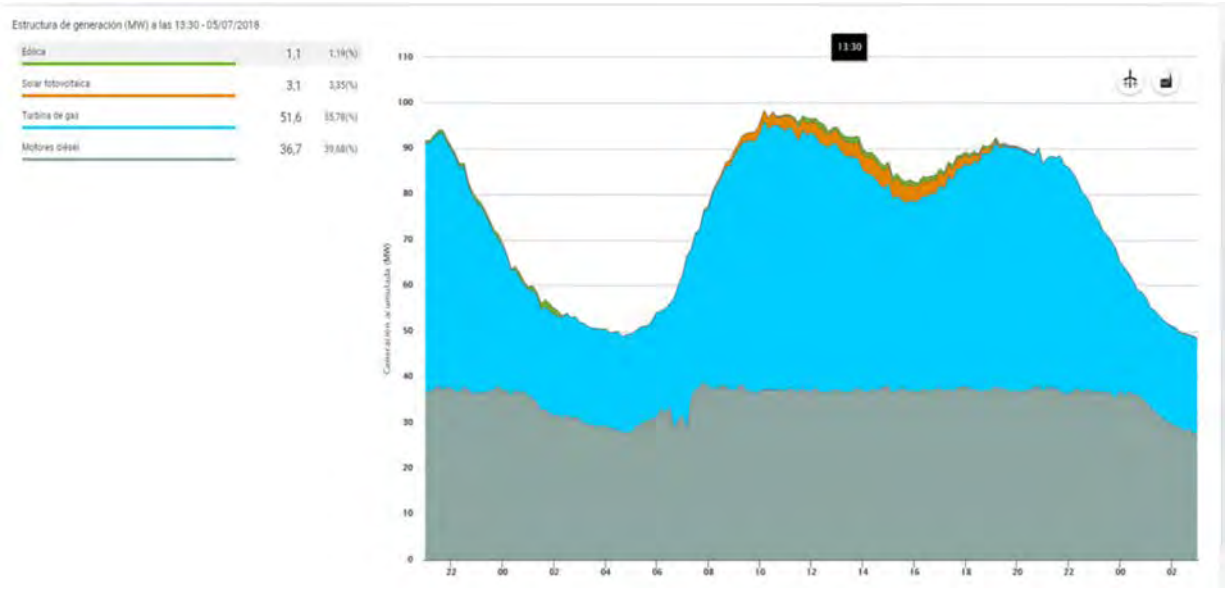



**Figura 2.** *Generación eléctrica Menorca 2018. Fuente: REE*

**Rechazo social a la energía eólica**

En Menorca existe un rechazo social por parte de la sociedad a la energía eólica cuando la isla tiene un recurso eólico importante.

Uno de los aspectos que han generado dicho rechazo es principalmente el impacto medioambiental en concreto el visual que generan los aerogeneradores, pero que está demostrado que es asumible, pues Menorca dispone del único parque de las islas Baleares. El parque de ES Mila de 3,2MW formado por cuatro aerogeneradores modelo Made AE-59 de 800kW y 80m de atura.

Otro aspecto que hace que tenga rechazo es la muy baja producción del mismo ya que la media de horas equivalentes es de 1700 HE, tal como se observa en la gráfica siguiente. Esto no es debido a la falta de recurso eólico sino más bien a problemas en la operación del parque.

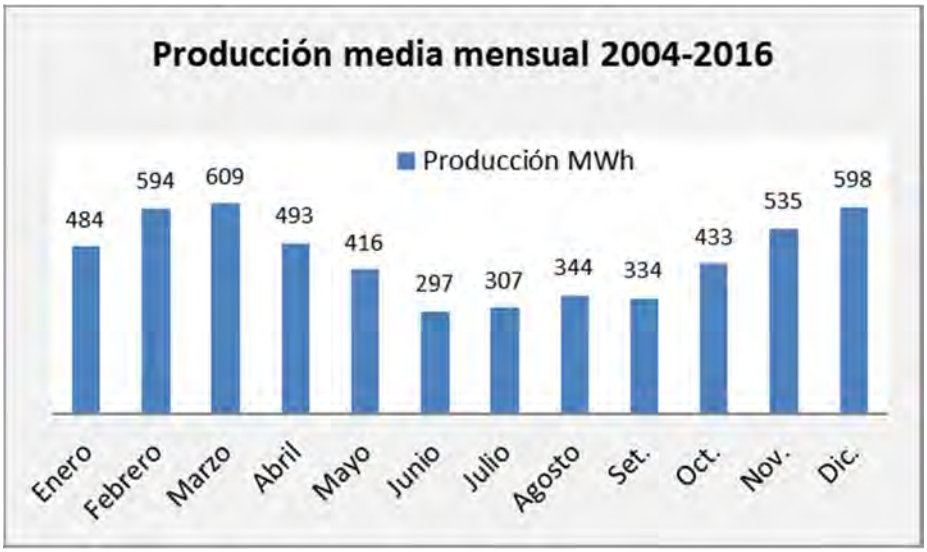



**Figura 3.** *Gráfica producción media mensual MWh periodo 2004 -2016. Fuente: OBSAM. Elaboración: Propia.*

Se puede observar cómo afecta a la energía producida por el parque la estacionalidad climática del régimen de vientos en Menorca, siendo la mayor producción durante los meses de inverno y más baja durante los meses de verano lo cual es muy importante a la hora de diseñar los objetivos para el 2030 ya que la eólica complementa la producción solar fotovoltaica, donde su máxima producción es en los meses de verano.

Hay que buscar un modelo que genere el menor impacto visual y eso se conseguiría con instalaciones eólicas descentralizadas de dos máquinas con una potencia máxima instalada de 8MW.

## 3. PROPUESTA CONSELL INSULAR DE MENORCA PARA LA HOJA DE RUTA OBJETIVO MENORCA 2030

La propuesta del Consell Insular de Menorca es la que se muestra en la siguiente imagen y describe el camino para reconducir el sistema energético desde la configuración actual con la central de Endesa como única fuente de generación hacia un modelo basado en renovables, plenamente compatible con los aspectos medioambientales y respeto del territorio, pero manteniendo la seguridad del suministro energético.

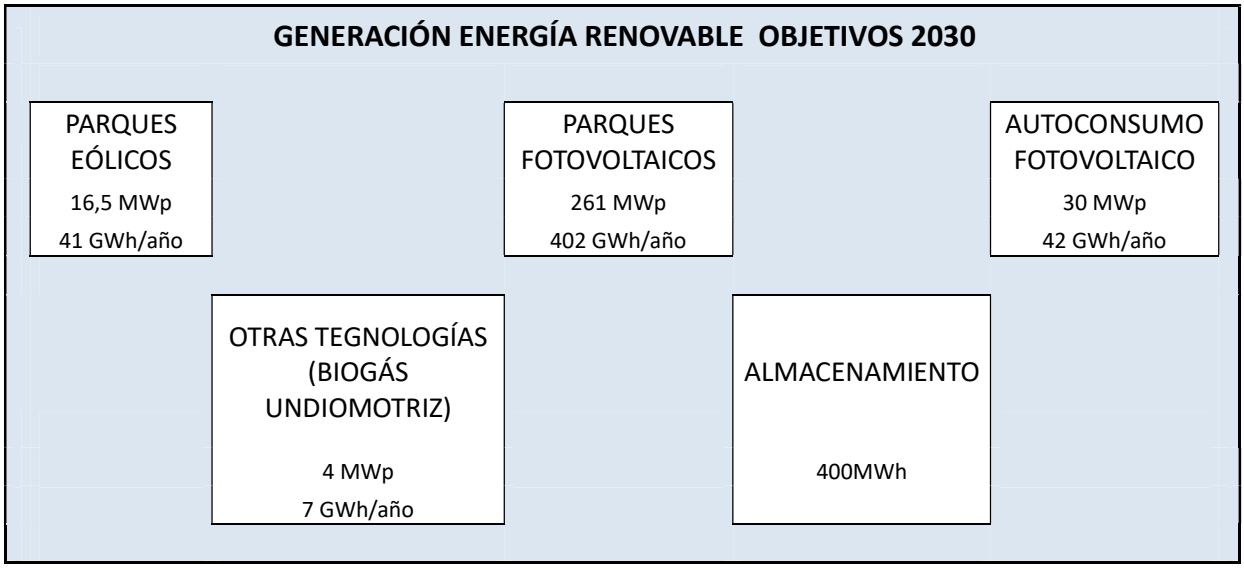



**Figura 4.** *Propuesta Generación renovable 2030. Fuente: Consell Insular Menorca. Elaboración: Propia.*

Analizando el reparto de potencia instalada se observa que la mayor parte de la energía renovable será de origen solar Fotovoltaica lo cual consideramos que es un error y hace inviable el alcanzar el 85% de generación mediante renovable.

### Potencia óptima de energía eólica.

Determinar la potencia máxima de las nuevas instalaciones de energía renovables que se pueden instalar sin afectar al sistema eléctrico es complicado ya que son instalaciones no gestionables.

REE en el documento Ref DDR.P/06/900 sobre el estudio de la Integración de la energía eólica en el sistema eléctrico Balear considerando los consumos en puntas y valle hace una propuesta de penetración de la energía eólica de entre 30MW - 40MW, aunque esta potencia podría variar en el caso de existir una el enlace submarino entre Menorca y Mallorca.

Otro factor importante que nos determina el índice de penetración de las renovables es la frecuencia de la red que está relacionado con el equilibrio entre la energía generada y la consumida. La parada de algún grupo de generación puede producir una instabilidad en el sistema según la siguiente ratio de 9,6MW/Hz que comparado con la península donde es aproximadamente de unos 15000MW/Hz, por ello es necesario disponer de grupos en rodante y más importante aún de una conexión estable y segura con el sistema peninsular a través de Mallorca.

El pasado 28 de octubre se produjo una contingencia en las dos líneas de REE con la caída de cuatro torres dejando sin suministro eléctrico a todos los abonados de las subestaciones de Mercadal y Ciutadella dado que la producción eléctrica está en la central de Maó y no se dispone del cable de interconexión con Palma de Mallorca.

**Figura 5.** *Estado línea 132kV temporal 28 octubre 2018 Cadena Ser. Fuente: CAIB - REE.*

Por todas estas razones es necesario disponer una generación distribuida con instalaciones renovables + acumulación e interconexión a las tres subestaciones a través de una red de distribución 15kV modernizada con capacidad de interconexión entre las líneas de las diferentes subestaciones y es fundamental un cable de REE desde Mallorca que nos garantice el suministro.

Pero el planteamiento sobre nuevos parques eólicos debe ser diferente a la península, no se puede pensar en grandes parques. El objetivo es instalar pequeños parques siguiendo el modelo de Es Milá con dos o tres aerogeneradores y una potencia instalada de 8MW, es decir de un modo racional. Estos parques tendrán una afección sobre el territorio, la avifauna y sobre el paisaje, pero como se ha demostrado con Es Milá es asumible.

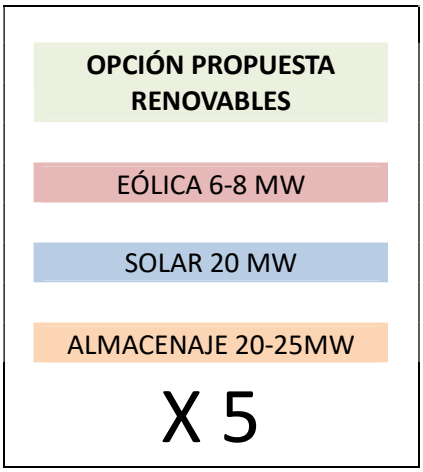



**Figura 6.** *Propuesta Generación renovable 2030. Elaboración: Propia.*

## 4. JUSTIFICACIÓN RESULTADOS PROPUESTA MIX ENERGÉTICO ENERGÍAS RENOVABLES

Consideramos que la energía eólica debe tener un peso mayor en el mix, dado que la opción planteada por el Consell de únicamente 16,5MW eólicos propuestos y junto con 261MW SFV va a generar que una parte muy alta de la nueva generación sea desechada-curtail (en vertidos). Esto ocurre cuando llegamos a un nivel de potencia renovables similar a la carga y se continúa añadiendo una sola fuente de renovables como en este caso con los 261MW de la solar fotovoltaica.

Es muy importante preguntarnos si queremos continuar quemando fueloil en la central de Maó o por el contrario estamos dispuestos a tener algunos aerogeneradores diseminados en Menorca.

Lo que pretende este trabajo es obtener un óptimo económico (LCOE) mediante una proporción entre las dos fuentes principales de generación que son la eólica y SFV, además de permitirnos tener un alto grado de penetración que será aún mayor al considerar la acumulación.

**Propuesta planteada 36MW wind+ 100MW PV +136 MWh Acumulación**

Total generación Menorca 491GWh/año
Total Generación aprovechable wind+fotovoltaica 321 GWh/año
Índice de penetración renovables 65%

En la siguiente imagen de una simulación realizada por el Departamento de Sistemas Híbridos de Nordex se puede ver el nivel de penetración que se obtiene con 36MW eólicos que es un mix distinto al propuesto en la hoja de ruta del Consell. Analizando la gráfica el curtail o generación desecha es prácticamente nula.

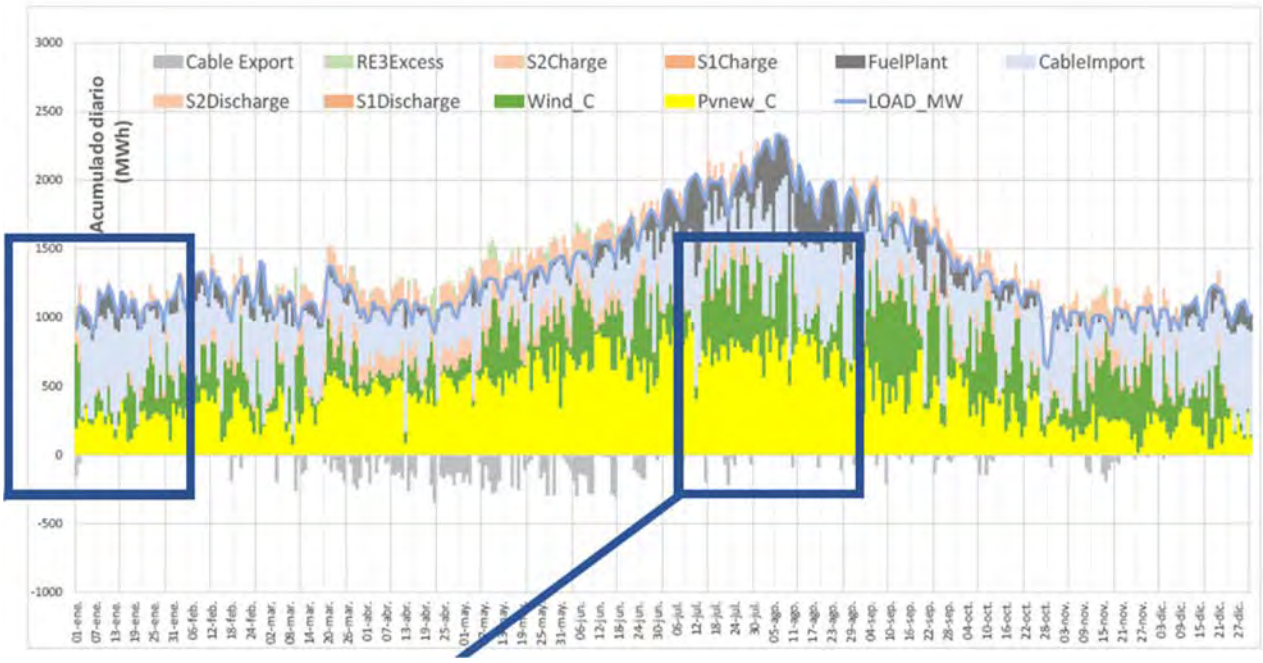



**Figura 7.** *Simulación generación distintas tecnologías. Fuente: Nordex -Acciona.*

Si deseamos aumentar el nivel de penetración de las renovables se deberá aumentar la potencia de energía renovable manteniendo una proporción en entre la SFV y la eólica.

**Recurso eólico y emplazamiento aerogeneradores**

En un primer momento para poder empezar a decidir los emplazamientos utilizamos la aplicación atlas eólico del IDAE donde nos indica la densidad de potencia en W/m2 y de este modo podemos comparar los distintos emplazamientos según el recurso eólico.

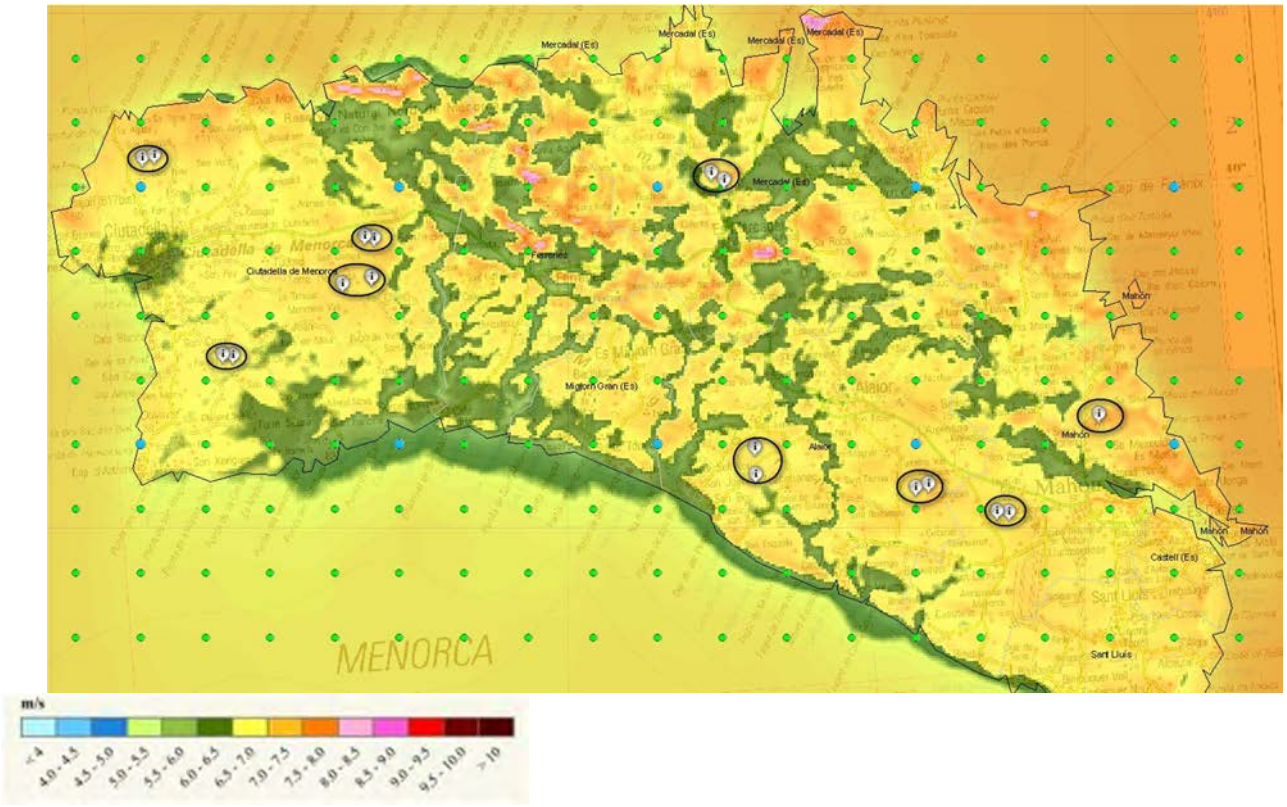



**Figura 8.** *Recurso eólico Menorca. Fuente: Mapa eólico IDAE. Elaboración: Propia.*

En la imagen anterior observamos que los aerogeneradores estarán situados en zonas optimas con una velocidad de viento media de entre 7 y 7,5 m/s. La dirección predominante en todos los emplazamientos propuestos es entre NNW y la NNE.

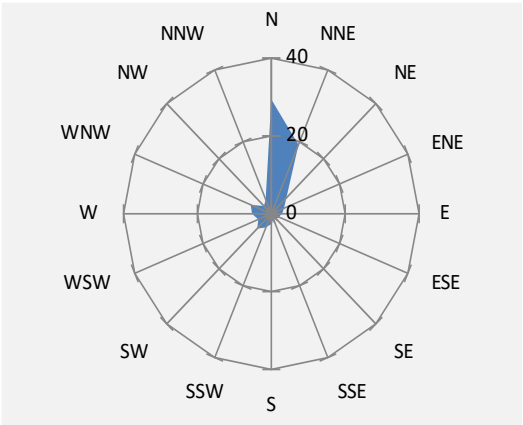



**Figura 9.** *Rosa energías Zona 1. Fuente: Atlas eólico IDAE. Elaboración: Propia.*

Una vez definidas y elegidas las zonas con recurso eólico se han superpuesto con los mapas de aptitud eólica del Govern Balear y algunas recomendaciones de medioambiente para determinar si

son aptas. Con todo ello se ha encontrado y propuesto 9 zonas para la posible instalación de aerogeneradores en la isla de Menorca.

Cada uno de los nueve emplazamientos eólicos se eligió tras un estudio en el que se evaluaron las características orográficas del terreno y mapas de recurso eólico, infraestructuras viarias y eléctricas existentes y de forma especial, el impacto ambiental que las instalaciones pudieran ocasionar, además de mantener una distancia de 500m a núcleos urbanos y asentamientos y casas agrícolas.

Posteriormente se realizó un trabajo en campo visitando las posibles ubicaciones y verificar los datos obtenidos del visor IDE Menorca junto con los técnicos de Consell Insular de Menorca.

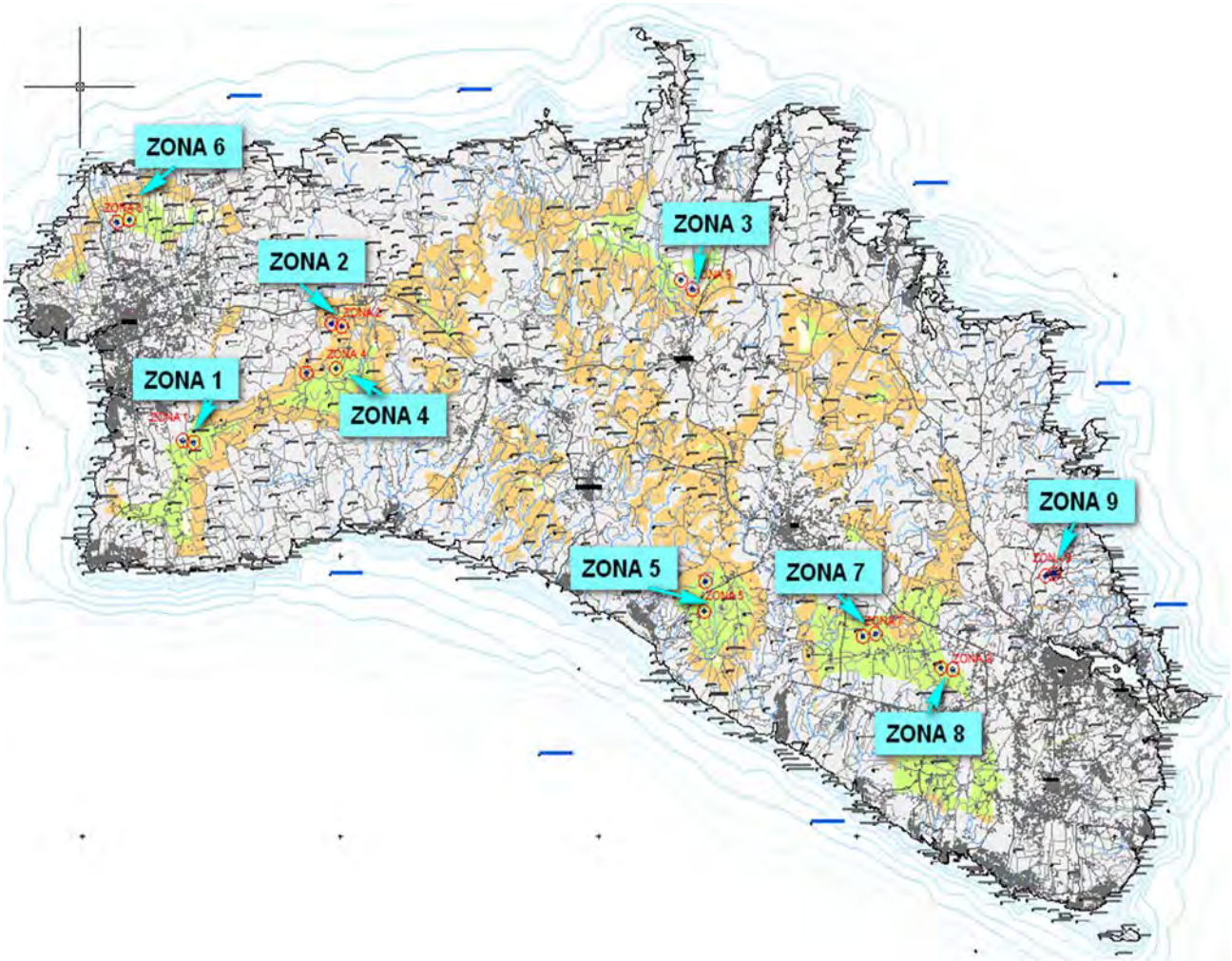



**Figura 10.** *Ubicación Zonas Parques Eólicos. Fuente: Govern Balear Google Maps. Elaboración: Propia.*

Tal como se indica en la imagen anterior la ubicación de los Aerogeneradores se proyecta en zona rústica no clasificada como Àrea Natural d'Interès Territorial (ANIT) ni espacio protegido cumpliendo el Decreto 33/2015 33/2015 modificación Plan Director Sectorial Energetic de las islas Baleares.

### Elección modelo aerogenerador

Se elige el fabricante de aerogeneradores ENERCON que ha demostrado fiabilidad en instalaciones en islas como es el caso de Canarias. En el estudio económico se realiza para varios modelos, siendo el ENERCON E-138 el que posee un mayor diámetro con una torre de 111m de altura y 3,5MW de potencia nominal y arranca con un viento de 4m/s y alcanza la potencia nominal a 12m/s, también realizamos el estudio con los modelos E-126 de 3,5MW y el E-115 de 3MW son de clase III con una altura de buje de 116m y 122m respectivamente lo que significa que es apto para el régimen de vientos de nuestro emplazamiento según la norma IEC 61400-12-1

Estos tres modelos de aerogenerador tienen una la altura del buje + altura de palas no se supera la altura de 180m para cumplir las posibles restricciones de navegación aérea de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea.

Se representa la distribución y distancia entre aerogeneradores en Zona 1 cerca de la desaladora.

**Figura 11.** *Ubicación aerogeneradores ZONA .1 Fuente: Tool-online.com Google Maps. Elaboración: Propia.*

Durante muchos años se ha planteado que la solución para Menorca es la energía solar fotovoltaica. Actualmente es muy competitiva en precio, pero no debemos olvidar que tiene una gran afección al territorio por la gran extensión que ocupa comparada con la energía eólica. Como ejemplo la ampliación de 50MW del parque de Son Salomo ocupará 104ha y producirá 75,3GWh aportando únicamente el 16% de la producción total de Menorca

La superficie ocupada por un físicamente por una instalación eólica es mucho menor que el área que necesita ocupar una instalación solar fotovoltaica de la misma potencia, ya que en una instalación eólica se reduce únicamente a la cimentación y el área junto a la base del aerogenerador. En definitiva, una instalación eólica es compatible con otros usos del terreno como son los agrícolas y ganaderos. Esto lo consideramos como una ventaja.

A modo de ejemplo la ampliación de 50MW del parque de Son Salomo ocupará 104ha y producirá 75,3GWh aportando únicamente el 16% de la producción total de Menorca, en cambio los 5 parques nos aportaran una producción anual de 110GWh, es decir un 23% del Mix.
El programa WAsp nos proporciona un fotomontaje donde están ubicados los aerogeneradores obteniendo una simulación en 3D viendo el impacto visual de los aerogeneradores instalados.

**Figura 12.** *Montaje 3D ubicación de aerogeneradores repotenciación PE Es Milà. Elaboración: Propia.*

### Líneas de evacuación del parque eólico

En Menorca disponemos de tres subestaciones de distribución de la compañía GESA Endesa a las cuales vamos a realizar la conexión de nuestros parques eólicos. El evacuar a distintas subestaciones en el caso de desconexión de un parque eólico no supondrá una desestabilización del sistema eléctrico ni afectara a la operatividad de REE que es el del operador del sistema.

**Figura 13**. *Trazado línea de evacuación CEE Zona 1 hasta SE Cuitadela. Elaboración: Propia*.

## 5. JUSTIFICACIÓN SOLUCIÓN ADOPTADA

### Resumen producción energética

En la siguiente tabla se ha realizado un resumen de la producción e ingresos de cada posición de aerogenerador prevista para cada uno de los tres modelos de aerogeneradores propuestos.

**Tabla II.** *Ingresos por venta de energía en el mercado diario. Elaboración: Propia*

| PRODUCCIÓN P90 INGRESOS ANUALES | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 46 | Precio €/MWh | E-115 3MW | | E-138 3,5MW | | E-126 3,5MW | |
| Zona | Aerogenerador | Producción MWh P90 | Ingresos € P90 | Producción MWh P90 | Ingresos € P90 | Producción MWh P90 | Ingresos € P90 |
| 1 | AG1 | 8.594 | 395.329 | 10.384 | 477.684 | 9.630 | 442.989 |
| | AG2 | 8.491 | 390.577 | 10.267 | 472.278 | 9.511 | 437.522 |
| 2 | AG3 | 9.529 | 438.337 | 11.464 | 527.353 | 10.691 | 491.780 |
| | AG4 | 9.156 | 421.199 | 11.029 | 507.319 | 10.273 | 472.574 |
| 3 | AG5 | 8.843 | 406.792 | 10.680 | 491.263 | 9.906 | 455.678 |
| | AG6 | 8.704 | 400.383 | 10.521 | 483.974 | 9.746 | 448.307 |
| 4 | AG7 | 8.751 | 402.566 | 10.568 | 486.149 | 9.807 | 451.103 |
| | AG8 | 8.887 | 408.782 | 10.721 | 493.157 | 9.963 | 458.314 |
| 5 | AG9 | 8.762 | 403.042 | 10.594 | 487.340 | 9.805 | 451.038 |
| | AG10 | 8.673 | 398.949 | 9.817 | 451.586 | 9.703 | 446.330 |
| 6 | AG11 | 9.071 | 417.284 | 10.930 | 502.801 | 10.177 | 468.128 |
| | AG12 | 8.860 | 407.565 | 10.682 | 491.364 | 9.941 | 457.287 |
| 7 | AG13 | 9.134 | 420.149 | 11.020 | 506.898 | 10.231 | 470.607 |
| | AG14 | 9.393 | 432.062 | 11.314 | 520.438 | 10.529 | 484.324 |
| 8 | AG15 | 8.993 | 413.670 | 10.859 | 499.501 | 10.069 | 463.185 |
| | AG16 | 8.976 | 412.880 | 10.840 | 498.617 | 8.804 | 404.966 |
| 9 | AG17 | 10.066 | 463.053 | 12.076 | 555.485 | 11.309 | 520.233 |
| | AG18 | 10.045 | 462.082 | 12.055 | 554.519 | 11.282 | 518.969 |
| **Producción total anual MWh** | | **162.928** | **7.494.701 €** | **195.820** | **9.007.726 €** | **181.377** | **8.343.335 €** |

La producción en la Zona 9 mediante WAsP aplicando unas pérdidas adicionales del 9% y si tomamos un P90 a nivel de producción vemos que esta es bastante más inferior que la obtenida con los datos de IDAE. En conclusión, antes de instalar un parque eólico se deberá realiza una de medición del recurso eólico.

Se ha considerado un precio de la energía de 46€/MWh podemos decir que es un precio conservador ya que en el informe de precios del año 2017 publicado por OMIE el precio medio mensual de la energía del mercado diario es de 52,22€/MWh.

### Estudio viabilidad para 35MW en 5 zonas con fondos propios.

A continuación, se muestran los resultados del estudio de viabilidad económica suponiendo la inversión del 100% con fondos propios en cada una de las zonas seleccionadas para los modelos seleccionados considerando un precio de venta de la energía de 46€/MWh producido.

**Tabla III.** *Resumen estudio viabilidad Enercon E115 para cada zona eólica de Menorca. Elaboración: Propia*

| CUADRO COMPARATIVO DE INVERSIONES P90 46€/MWh ENERCON E115 3MW 122m | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Modelo** | **VAN** | **TIR** | **PAYBACK (AÑOS)** | **Horas Equi HE P90** | **Coste inversión Euros** |
| ZONA 1 | 2.576.238 | 5,60% | 14,74 | 2.847 | 6.635.100 |
| ZONA 2 | 3.019.951 | 5,81% | 14,40 | 3.114 | 7.122.750 |
| ZONA 3 | 2.971.562 | 6,03% | 14,05 | 2.925 | 6.448.950 |
| ZONA 7 | 3.357.821 | 6,31% | 13,64 | 3.088 | 6.606.600 |
| ZONA 9 | 4.106.178 | 6,91% | 12,82 | 3.352 | 6.711.450 |
| ZONA 9 WAsP | 1.228.879 | 4,29% | 17,09 | 2572 | 6.711.450 |

**Tabla IV.** *Resumen estudio viabilidad Enercon E115 para cada zona eólica de Menorca. Elaboración: Propia*

| CUADRO COMPARATIVO DE INVERSIONES P90 46€/MWh ENERCON E138 3,5MW 111m | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Modelo** | **VAN** | **TIR** | **PAYBACK (AÑOS)** | **Horas Equi HE P90** | **Coste inversión Euros** |
| ZONA 1 | 3.093.855 | 5,74% | 14,48 | 2.950 | 7.595.100 |
| ZONA 2 | 3.617.607 | 5,98% | 14,10 | 3.213 | 8.082.750 |
| ZONA 3 | 3.512.778 | 6,14% | 13,85 | 3.029 | 7.408.950 |
| ZONA 7 | 3.947.568 | 6,43% | 13,44 | 3.190 | 7.566.600 |
| ZONA 9 | 4.752.552 | 7,00% | 12,67 | 3.447 | 7.671.450 |
| ZONA 9 WAsP | 1.814.087 | 4,66% | 16,34 | 2721 | 7.671.450 |

**Tabla V.** *Resumen estudio viabilidad Enercon E126 para cada zona eólica de Menorca. Elaboración: Propia*

| CUADRO COMPARATIVO DE INVERSIONES P90 46€/MWh ENERCON E126 3,5MW 116m | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Modelo** | **VAN** | **TIR** | **PAYBACK (AÑOS)** | **Horas Equi HE P90** | **Coste inversión Euros** |
| ZONA 1 | 2.719.716 | 5,41% | 15,04 | 2.735 | 7.595.100 |
| ZONA 2 | 3.210.880 | 5,63% | 14,70 | 2.995 | 8.082.750 |
| ZONA 3 | 3.140.241 | 5,81% | 14,39 | 2.807 | 7.408.950 |
| ZONA 7 | 3.594.109 | 6,12% | 13,92 | 2.966 | 7.566.600 |
| ZONA 9 | 47.472.226 | 6,75% | 13,04 | 3.227 | 7.671.450 |

Se resumen los resultados de la TIR en cada zona para el modelo ENERCON E138 considerando una vida útil de la instalación de 30años y financiando la inversión del proyecto con fondos propios.

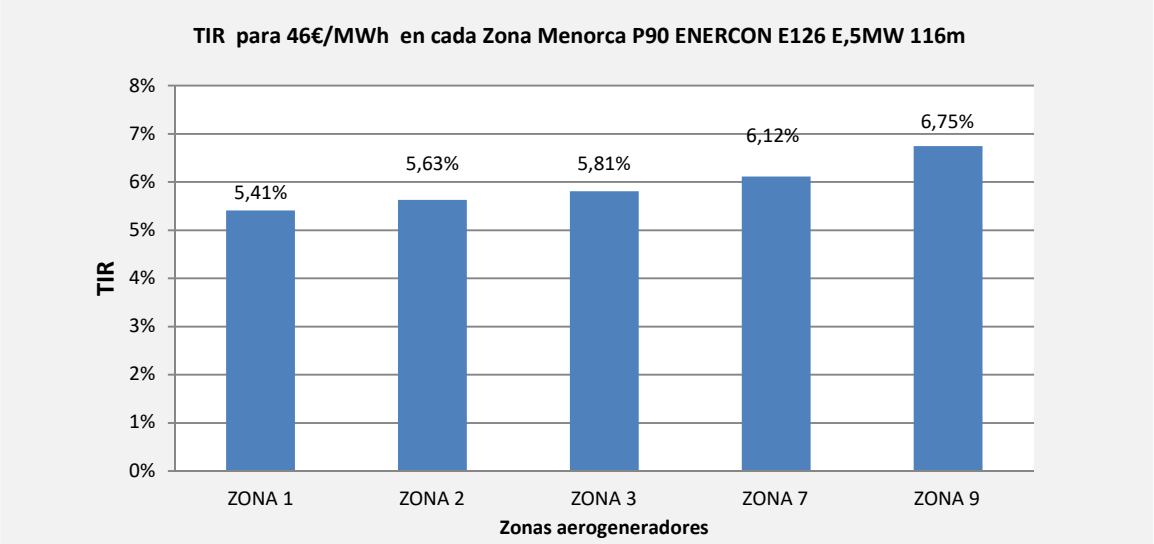



**Figura 14.** *Resultado TIR para cada zona eólica de Menorca Modelo Enercon E138. Elaboración: Propia.*

En la gráfica siguiente vemos la relación entre HE e inversión en €. Se comprueba que todas las zonas cumplen con un mínimo de HE y siendo la inversión muy similar en todas las zonas seleccionadas.

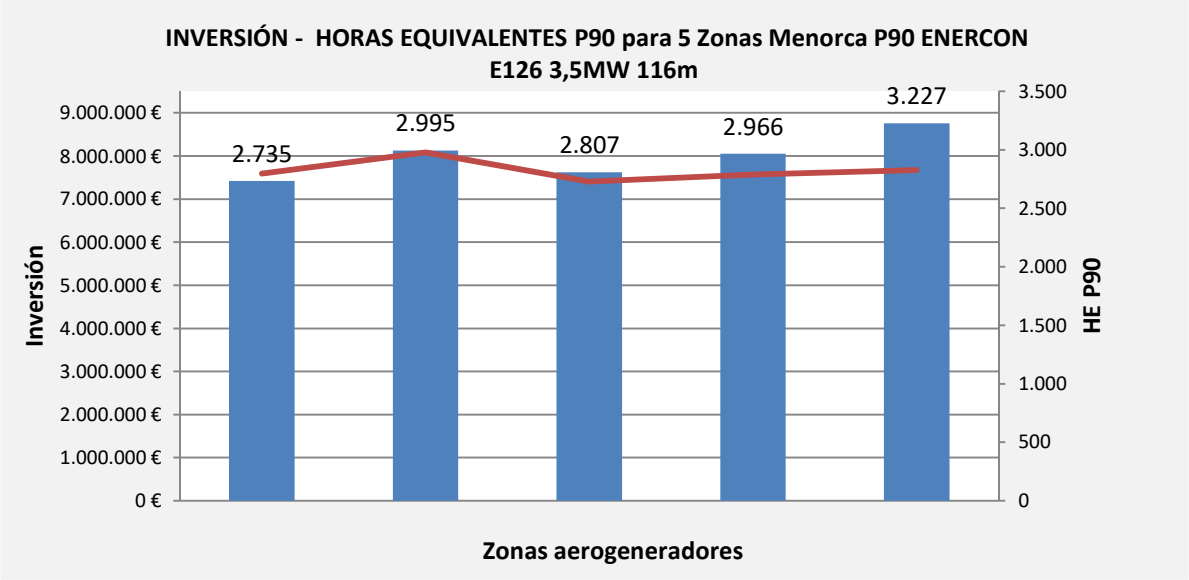



**Figura 15.** *Relación Inversión-HE en cada zona eólica de Menorca para E126 3,5MW. Elaboración: Propia.*

Analizamos el periodo de retorno para cada zona para el aerogenerador E126 de 3,5MW, se observa que el Play back medio es de entre 13 años.

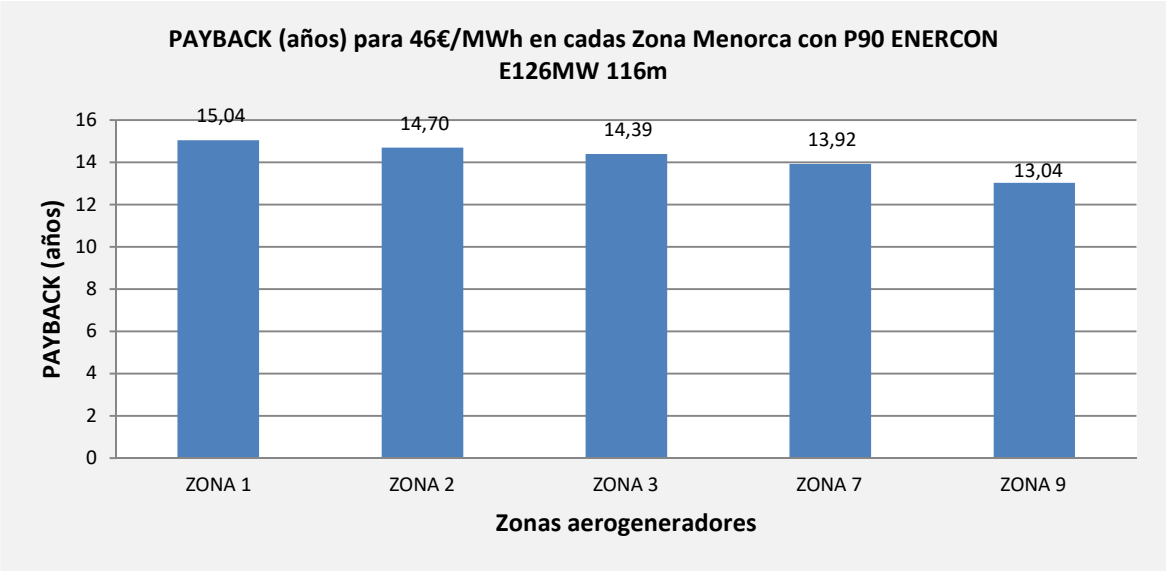



**Figura 16.** *Resultado años PAYBACK en cada zona eólica con el E-138 para 46€/MWh. Elaboración: Propia.*

### Estudio viabilidad para 35mw en 5 zonas con financiación del 50%

A continuación, tenemos una tabla con el extracto de la cuenta de pérdidas y ganancias para la instalación de 35MW eólicos en Menorca distribuido en 5 zonas para el modelo Enercon E126 de 3,5MW a 116m y un precio de venta 46€/MWh.

**Tabla VI.** *Simulación años PAYBACK TIR con Financiación 50% para 35MW E126 Elaboración: Propia*

| CUADRO RESUMEN DATOS DE PARTIDA | | | | | RENTABILIDAD PROYECTO E126 FINANCIANDO 50% | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Total Inversión inicial € | Años amortización | Tasa de descuento VAN | IPC | Precio energía | Modelo | Potencia instalada | PAYBACK (AÑOS) | TIR | VAN |
| 38.324.850 | 30 | 3% | 1,27% | 46 | ENERCON E-126 3,5MW de 116m | 35 | 12,41 | 7,7% | 16.684.472 |

También se han realizado simulaciones de viabilidad económica para los modelos E115 y E138 considerando diversos precios de la energía eléctrica de 53€/MWh con incremento del precio de la energía del 1% anual.

En la gráfica siguiente se observa que el PAY BACK es de 12 años para una potencia eólica instalada de 35MW repartido en 5 parques de dos aerogeneradores por parque y con una financiación del 50%. Se considera que todos los parques se instalaran en el mismo periodo temporal con el fin de optimizar y por reducir los costes de los medios auxiliares como grúas y equipos de movimiento de tierras y transporte desplazados desde la península para el montaje.

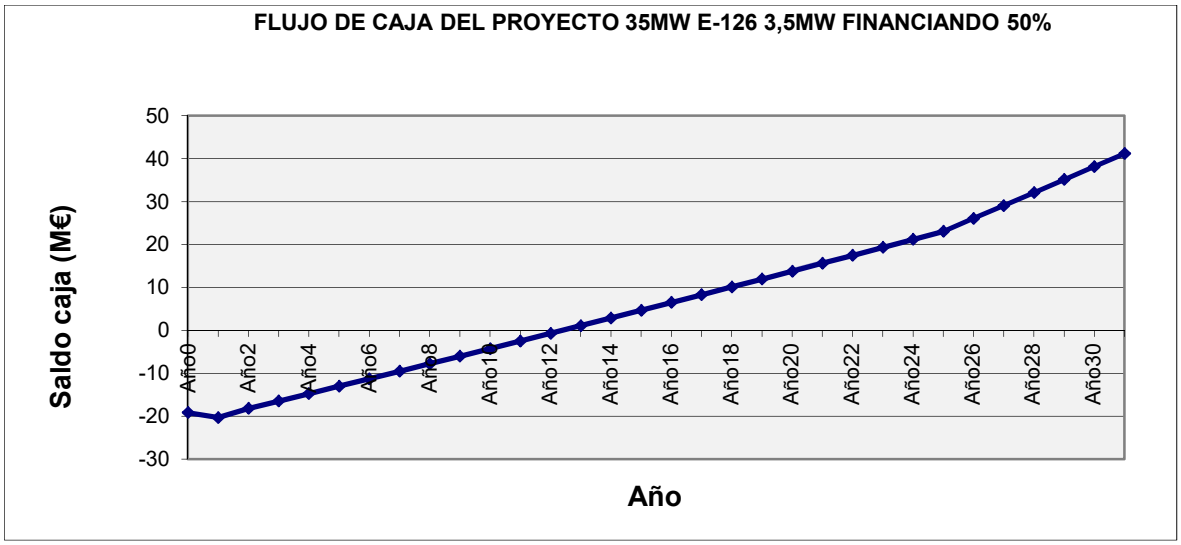



**Figura 17.** *Financiación 50% Flujo Caja visto por el inversor para P90 PE Menorca E126. Elaboración: Propia*

## 6. CONCLUSIONES

Después de realizar un estudio en detalle de las zonas de aptitud y del recurso eólico y proponer distintas zonas donde realizar el cálculo de la producción energética. Se han definido 9 zonas para su estudio en detalle y determinamos que la isla de Menorca posee un recurso eólico aceptable con una media de 2910HE obtenidos con los datos proporcionados por el atlas eólico del IDAE y para una incertidumbre P90.

Dado que existe una limitación por parte de REE de la capacidad de potencia de energía eólica a instalar se propone seleccionar 5 zonas que corresponden a 35MW. El criterio para la elección de las zonas será básicamente la producción, las HE y los datos de rentabilidad calculados para cada zona y algunos temas de impacto visual y medio ambiental, así como los accesos.

Un aspecto que nos preocupaba a la hora de realizar el estudio era el medioambiental al ser Menorca reserva de la Bioesfera, pero todas las zonas propuestas están fuera de las zonas protegidas con figuras ambientales, también se han tenido en consideración los aspectos indicados en la reunión mantenida con responsables del GOB. Por tanto, se considera que su influencia es moderada en el entorno. Se deberá realizar un estudio de impacto medioambiental específico para cada zona.

Con todo ello afirmamos que el proyecto eólico en Menorca es rentable, desde el punto de vista económico al obtenerse valores VAN positivo y uno valores medios TIR del 6,84 % con un PAYBACK medio de 13 años para los tres modelos de la plataforma EP-3 estudiados. Estos resultados no son espectaculares comparados con otros emplazamientos de la península, pero nos permiten tener cierto optimismo para continuar avanzando en la instalación de parques eólicos en Menorca.

Aunque el estudio económico se ha realizado con un precio de 46€/MWh y existen corrientes de estudio que indican que en el futuro un aumento de las instalaciones de energías renovables produzca un decrecimiento del precio de la energía en el mercado mayorista, pensamos que la generación con energía eólica continúa siendo rentable a la vista de los datos económicos obtenidos incluso sin considerar las reducciones de CO2.

Pero realizando un análisis de los datos históricos de la evolución del precio de la energía eléctrica se ve que siempre ha tenido una tendencia alcista, por ello en este trabajo hemos considerado la hipótesis que nuestro precio suelo de venta nunca será inferior a 46€/MWh.

Con el fin de cumplir la Ley balear 10/2019, de 22 de febrero, de cambio climático y transición energética, aprobada por el Parlamento de las Islas Baleares se hace necesaria la construcción de nuevos parques eólicos para los cumplimientos en el 2030 en Menorca, ya que únicamente se podrá conseguir este objetivo del 85% de generación renovable diversificando el mix energético.

Todas las energías renovables son necesarias, tanto la SFV, la Solar Térmica, Biomasa Térmica Biomasa para la producción de electricidad, Eólica. "Todas suman al mix, ninguna resta".

También se quiere recalcar los beneficios de realizar una generación distribuida en varias zonas y conexionadas a distintas subestaciones ya que esto nos permitiría poder garantizar parte del suministro en casos excepcionales donde la red de trasporte sufra algún tipo de contingencia. Como la ocurrida el día 28 de octubre de 2018 debida a un tornado donde cayeron cuatros torres de la red de transporte de 132kV de REE procediendo un desabastecimiento energético en la zona de Ciutadella, Ferreries y Es Mercadal.

Los resultados de este trabajo están realizados sin tener en cuenta los posibles efectos del nuevo régimen especial económico de Baleares que el Gobierno se compromete a aprobar el en 2019, en el cual se pueden establecer retribuciones especiales a la generación eléctrica al contemplar el factor de insularidad.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Quería dedicar unas líneas para agradecer a José Ignacio González gran profesor, a Rafa Muñoz del Consorci de Residus i Energia de Menorca por su implicación en la realización de este trabajo y a Eric Breckwoldt de la empresa Enercon por su colaboración.

## 8. REFERENCIAS

AGÈNCIA RESERVA DE BIOSFERA DE MENORCA. Revista ONA (2018)

COMISIÓN NACIONAL DE LOS MERCADOS Y LA COMPETENCIA (2018) Informe de Liquidación 9/2018 del sector eléctrico, de energías renovables.

CONSORCI DE RESIDUS URBANS I ENERGIA DE MENORCA. Memoria actividad (2017).

DTU Wind Energy WAsP Guide

IDAE.(2006) Manuales de energías renovables. Energía eólica

ENERCON (2018) Catálogo EP3

SALVADOR CUCO Publicación de ITE Módulo de Energía Eólica

REE (2017) Informe sobre "Las energías renovables en el sistema eléctrico español" 2017.

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

16:00 - 18:00

**SESIÓN 3 Track B. ENERGÍAS RENOVABLES y ECONOMÍA SOSTENIBLE**
Modera: Joaquín P. Mas. **GRUPO ENERCOOP**

Proyecto Alcalá ECO Energías.
**Teodorino López**

"Nuevos modelos de negocio para la economía colaborativa y circular: intercambio y gestión sostenible del excedente industrial" **Laura Martín Frax**. Ingeniero I+D+I. **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ENERGÍA (ITE)**

"Objetivo 2030: la descarbonización de Menorca. Transición energética en sistemas insulares" **Ignacio García Belenguer.** Profesor. **CIPFP CATARROJA**

"ECO-GATE: proyecto EDAR Butarque. La UE impulsa el gas renovable" **Jesús Hernández**. Nuevos negocios. **NEDGIA**

nedgia
Grupo Naturgy

ecogate®

Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union

# ECO-GATE

**European COrridors for natural GAs Transport Efficiency**

Jesús Hernández Hurtado
Nedgia, Grupo Naturgy

**II Congreso Internacional de Ingeniería Energética**
Madrid – 27 JUN 2019

# ECO-GATE

European COrridors for natural GAs Transport Efficiency

Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union

## ECO-GATE > EUROPEAN CONSORTIUM

- **38 Companies/Organisms**: 21 Spain + 16 Portugal + 1 France/Germany
- Multidisciplinary and Complementary competencies: from “NG Operators” to “End Users”

## ECO-GATE

European COrridors for natural GAs Transport Efficiency

Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union

### ECO-GATE > STAKEHOLDERS SUPPORT

- **39 Companies/Organisms**: Spain + Portugal + France + Germany
- Hauliers companies to ensure the use of the CNG/LNG refuelling stations and thus, perform the trial and study
- All type of associations, vehicle manufactures, bio-methane producers, technological centres, etc

**ECO-GATE**
European COrridors for natural GAs Transport Efficiency

Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union

## ECO-GATE > OVERALL OBJECTIVE

**Study conventional and renewable natural gas vehicle market in the whole Atlantic Corridor, and its interconnection with Rhine-Danube Corridor until Heddesheim, and the Spanish Mediterranean Corridor through new technologies and innovative solutions for:**

**Supply logistic services**
**Cleaner fuel composition**
**Refuelling infrastructure**
**Vehicle and components manufacturers**
**Operational process**

**This study in the form of real-life trial aims to allow quick deployment of this alternative cleaner fuel by significantly bringing unit cost down while improving understanding of client's needs.**

**ECO-GATE**
European COrridors for natural GAs Transport Efficiency

Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union

## ECO-GATE > SPECIFIC OBJECTIVES

- Deployment of a European wide network of **21 L-CNG refuelling stations** in Portugal, Spain, France and Germany, enhanced with innovative solutions for the natural gas market:
  - placed at strategical points located along the whole **Atlantic Corridor**, from Portugal to France
  - interconnection of the **Atlantic Corridor with the Rhine-Danube Corridor**
  - placed at strategic locations along the Spanish **Mediterranean Corridor**

- Deployment of **1 Biomethane supply point** at the Atlantic Corridor

- Deployment of **1 H-CNG supply point** at the Atlantic Corridor.

- Introducing and implementing **14 advanced and innovative solutions on the L-CNG infrastructure, vehicles and NG logistics services**
  - Equipments Implementation
  - Dispensation Systems
  - Platforms Systems
  - Renewable & Cleaner Fuels And Vehicles

# ECO-GATE

European COrridors for natural GAs Transport Efficiency

Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union

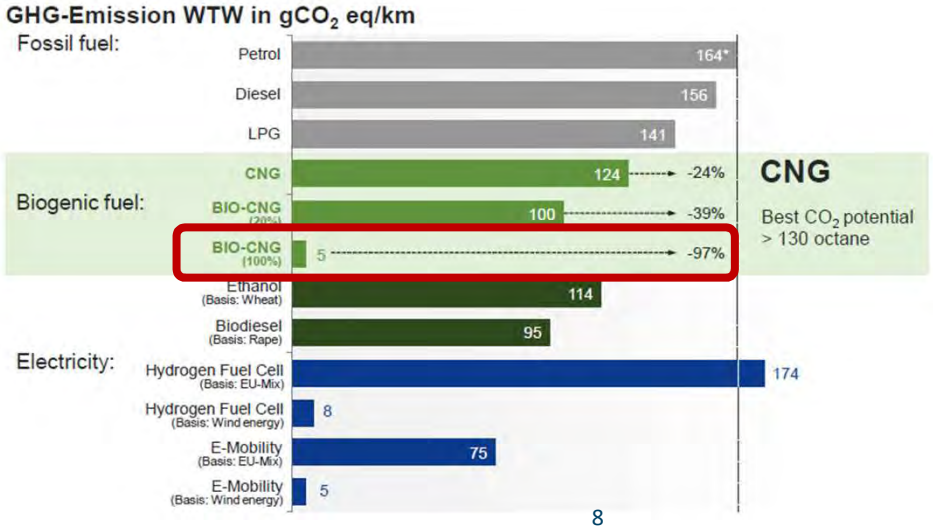
## ECO-GATE > MAP OF REFUELLING STATIONS

**ECO-GATE**
European COrridors for natural GAs Transport Efficiency

Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union

## ECO-GATE > MIXTURES OF CONVENTIONAL NATURAL GAS WITH BIOMETHANE

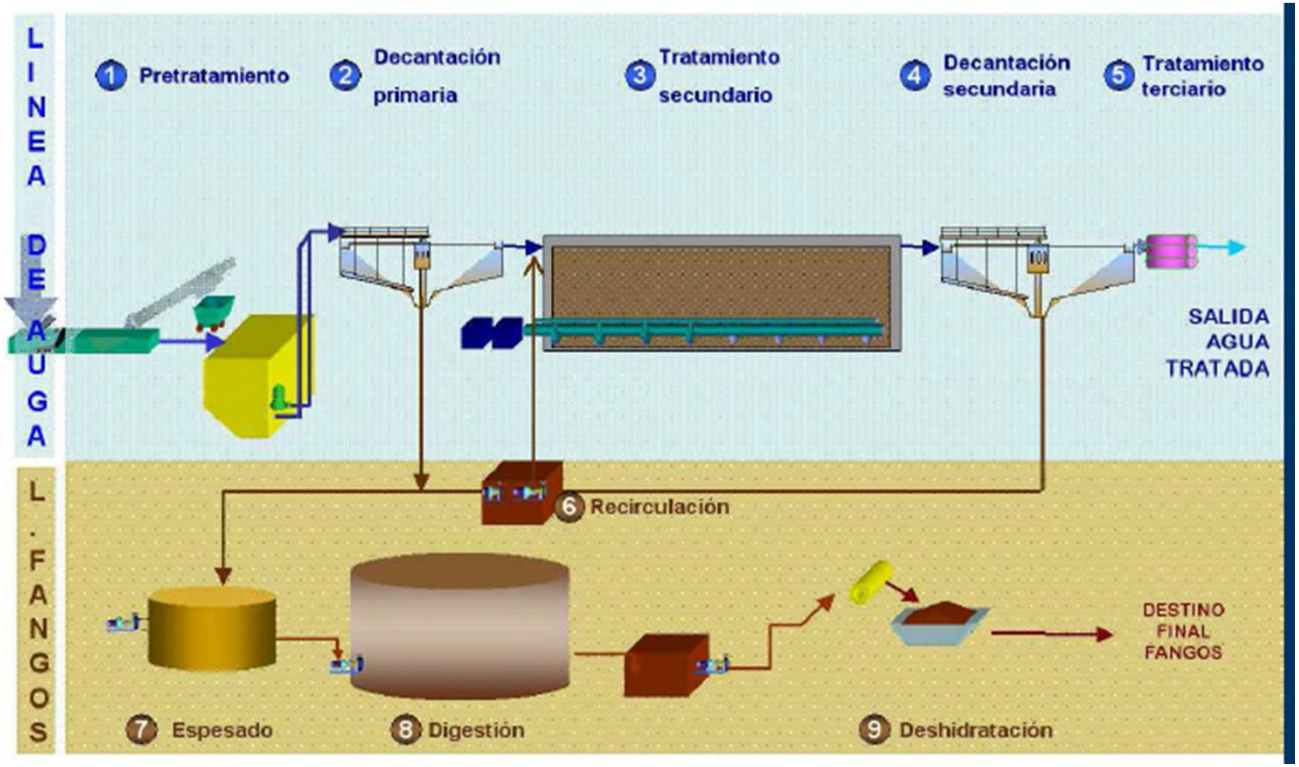
- Eco-efficiency of Biomethane for mobility
  **GHG-Emisision WTW ( gCO2 eq/km )**
  Source: JEC ( JRC + EUCAR + CONCAWE )
  - JRC European Commission's Joint Research Centre
  - EUCAR European Council for Automotive R&D
  - CONCAWE Group Conservation Clean Air&Water Europe



**ECO-GATE**
European COrridors for natural GAs Transport Efficiency

Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union

## ECO-GATE > MIXTURES OF CONVENTIONAL NATURAL GAS WITH BIOMETHANE



# ECO-GATE

European COrridors for natural GAs Transport Efficiency

Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union

## ECO-GATE > MIXTURES OF CONVENTIONAL NATURAL GAS WITH BIOMETHANE

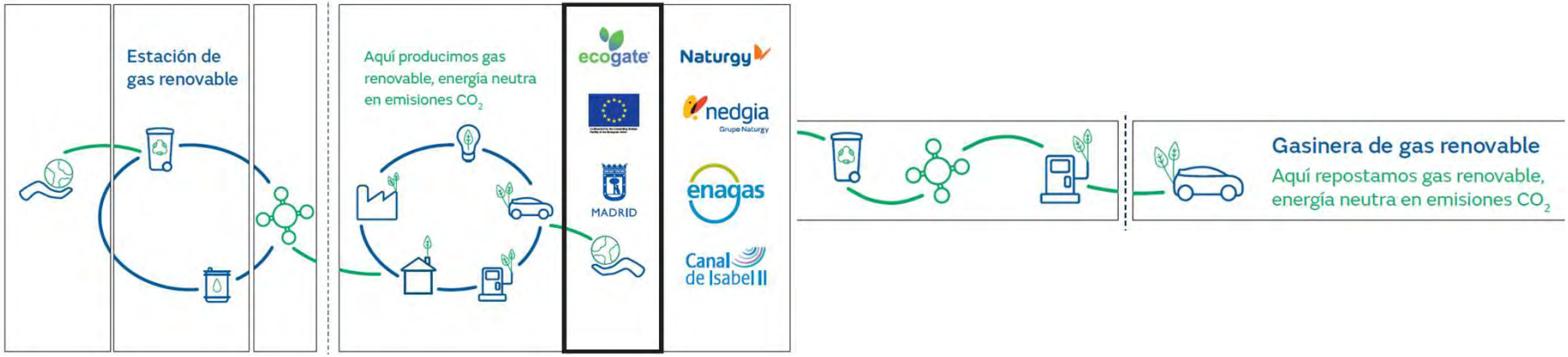
- Biomethane injected into natural gas distribution network
- Development of the Guarantees of Origin for renewable gas in Spain
- Demonstration of the eco-efficiency of renewable gas for mobility

**ECO-GATE**
European COrridors for natural GAs Transport Efficiency

Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union

## ECO-GATE > MIXTURES OF CONVENTIONAL NATURAL GAS WITH BIOMETHANE

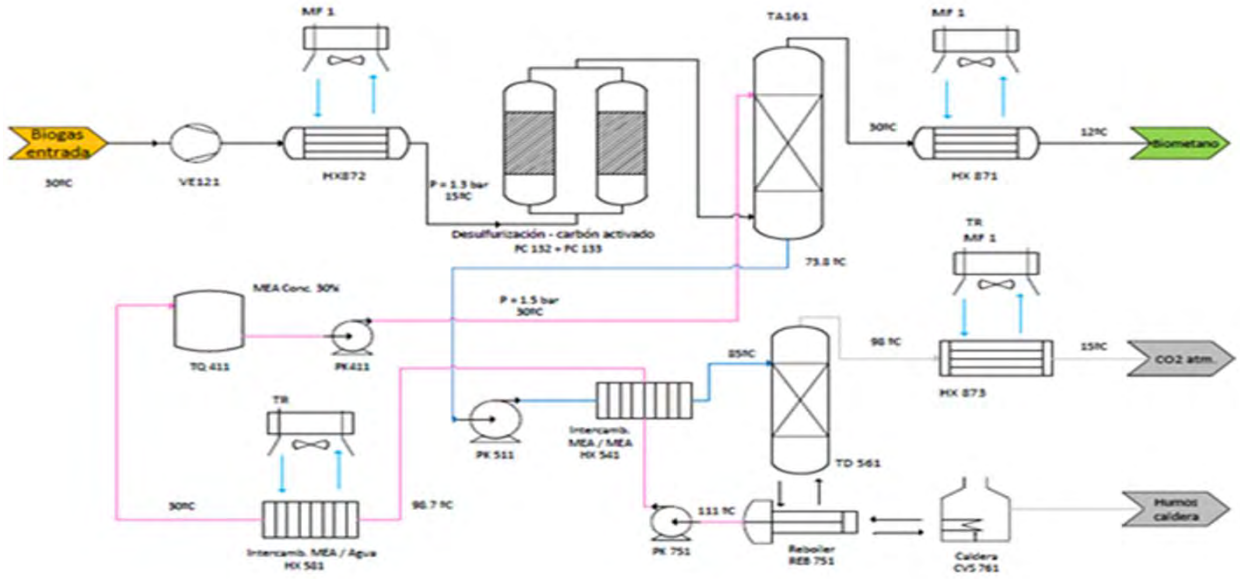
- Biogas: waste-water treatment Plant CANAL ISABEL II
- Upgrading Plant: amines + process analysers + chromatograph
- Biomethane injected into natural gas distribution network: 5 GWh/year
- Guarantees of Origin for renewable gas
- Bio-CNG refueling station connected to natural gas distribution network: tank 1920 liters / 250 bar



**ECO-GATE**
European COrridors for natural GAs Transport Efficiency

Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union

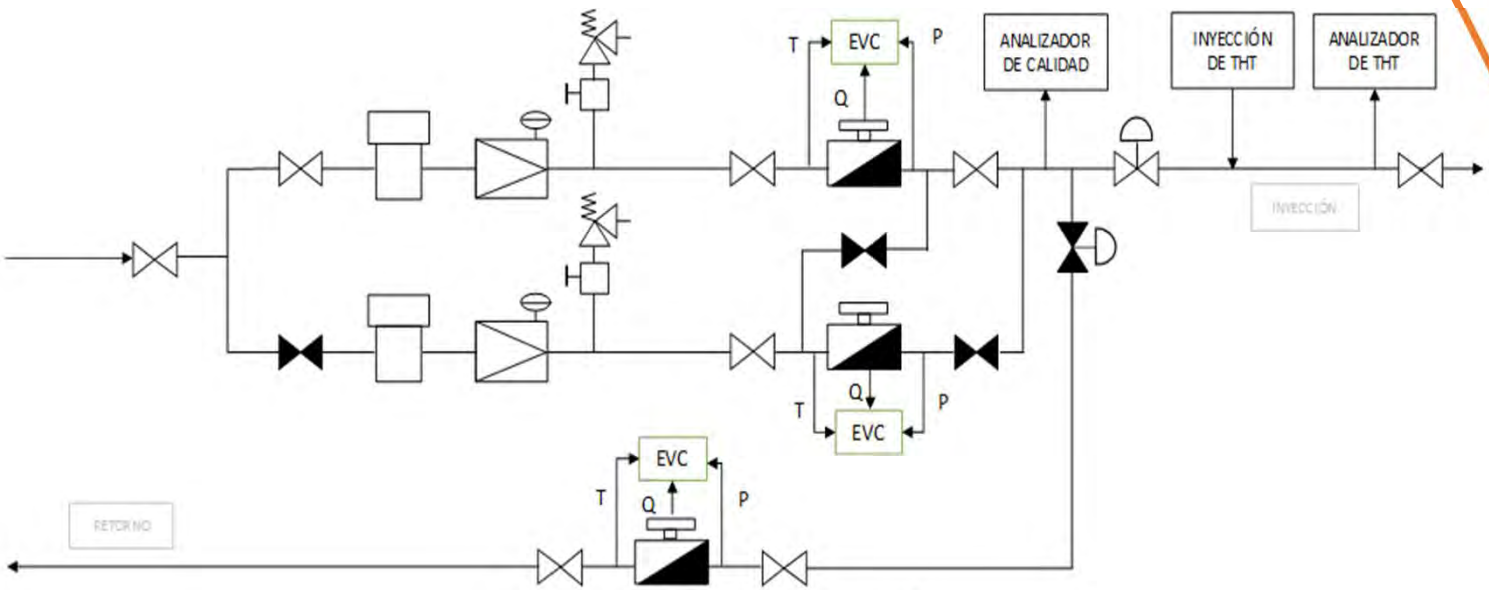
## ECO-GATE > MIXTURES OF CONVENTIONAL NATURAL GAS WITH BIOMETHANE



**ECO-GATE**
European COrridors for natural GAs Transport Efficiency

Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union

## ECO-GATE > MIXTURES OF CONVENTIONAL NATURAL GAS WITH BIOMETHANE



**ECO-GATE**

European COrridors for natural GAs Transport Efficiency

Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union

## ECO-GATE > MIXTURES OF CONVENTIONAL NATURAL GAS WITH BIOMETHANE

**ECO-GATE**

European COrridors for natural GAs Transport Efficiency

Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union

## ECO-GATE > MIXTURES OF CONVENTIONAL NATURAL GAS WITH BIOMETHANE

# ECO-GATE

European COrridors for natural GAs Transport Efficiency

Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union

## ECO-GATE > MIXTURES OF CONVENTIONAL NATURAL GAS WITH BIOMETHANE

# Thank you for your kind attention!

© Copyright Nedgia

Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union

The sole responsibility of this publication lies with the author. The European Union is not responsible for any use that may be made of the information contained therein.

# ECO-GATE: Proyecto EDAR Butarque.
# La UE impulsa el gas renovable.

**David Fernández**

Dirección de Autor. Plaça del Gas, 2 – 08003 Barcelona.
Correo electrónico. dfernandez@nedgia.es

**Resumen:**
ECO-GATE: Proyecto EDAR Butarque. La UE impulsa el gas renovable
Proyecto de biometano inyectado en red de distribución de gas
Proyecto de H-CNG constituyente de distintas mezclas de H2 y GN

**Palabras clave:** gas renovable, biometano, hidrógeno, certificados

## 1. TEXTO PRINCIPAL

ECO-GATE: Proyecto EDAR Butarque. La UE impulsa el gas renovable

Proyecto de biometano inyectado en red de distribución de gas:

- por primera vez en España
- demostrará la ecoeficiencia del gas renovable para movilidad
- desarrollará el sistema de certificados de origen para gas renovable en España.

Proyecto de H-CNG constituyente de distintas mezclas de H2 y GN

- demostrará el máx % de H2 admitido sin modificación de la configuración GNC
- demostrará la obtención de reducción de emisiones.

## 2. AGRADECIMIENTOS

N/A

## 3. REFERENCIAS

N/A

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

0 - 9:30 **CONFERENCIA MAGISTRAL. "Evolución del cambio climático y las emisiones en el m**
**do, Europa y España"**

**Elvira Carles.** Directora de la **Fundación Empresa y Clima**

# Efectos del Cambio Climático a nivel mundial

2019

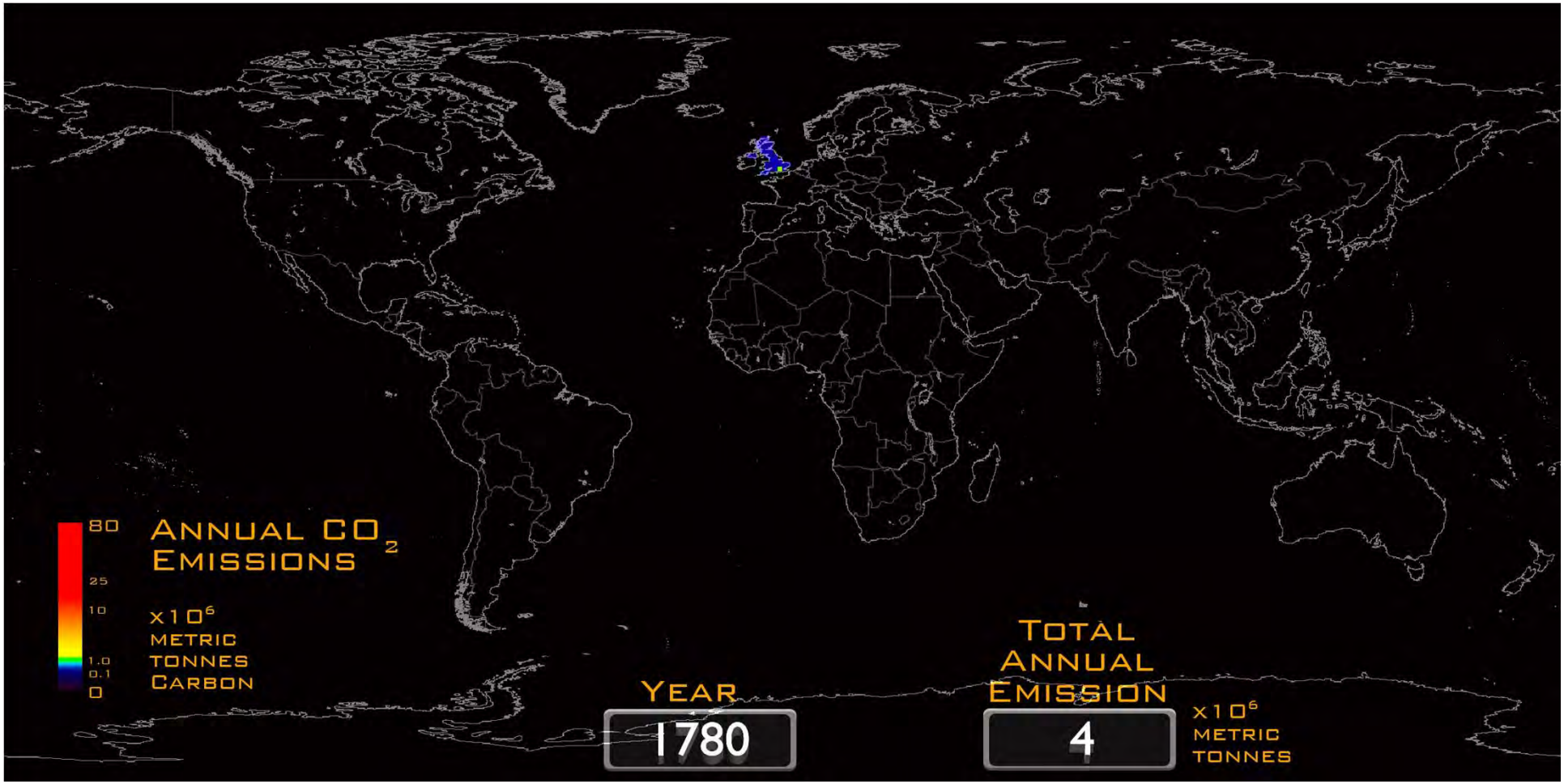
Fundación Empresa & Clima

Business value and climate com

## INDICE

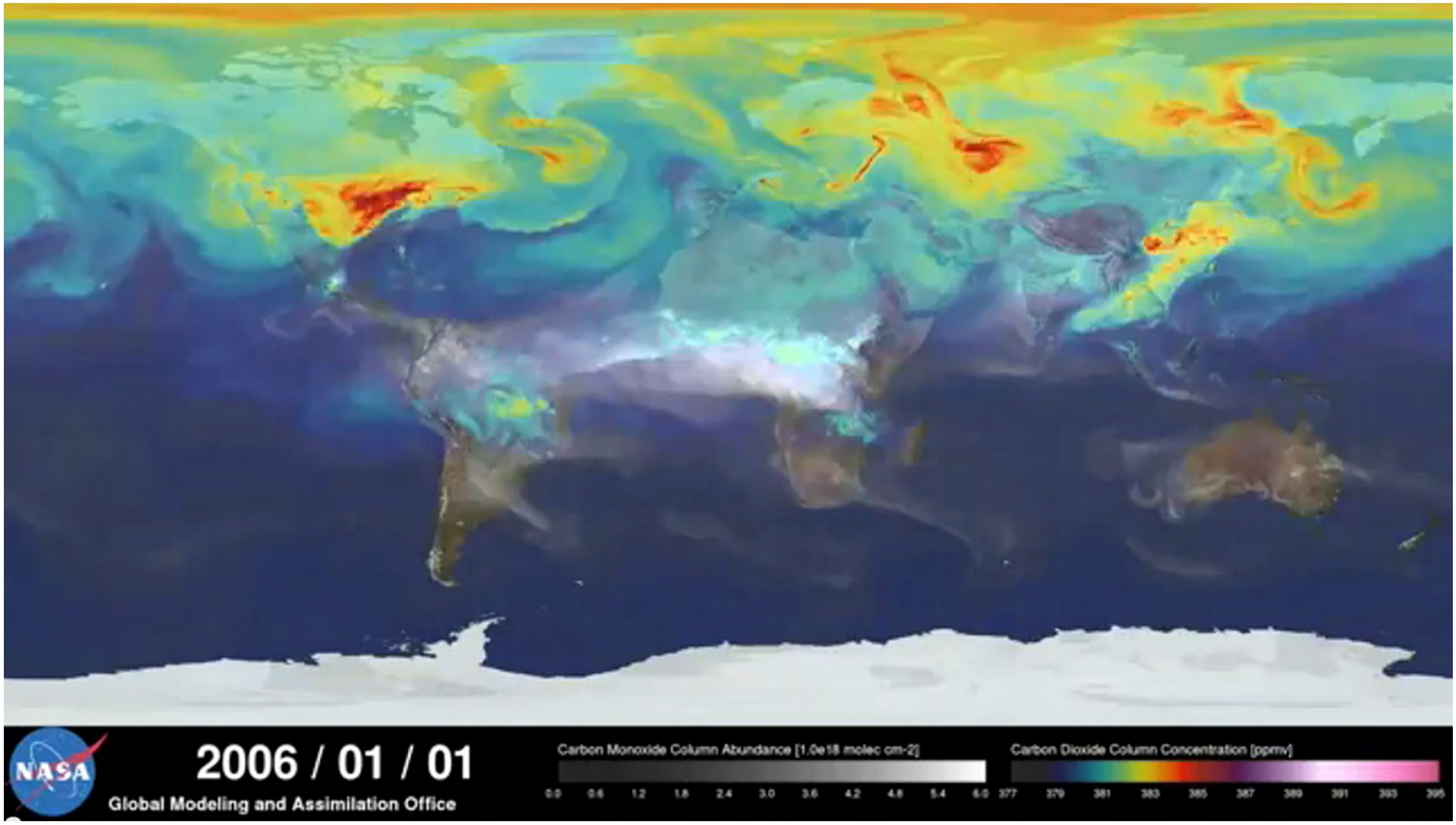
- Contexto general Cambio Climático
- Política del Cambio Climático
- El Acuerdo de París en 10 puntos
- Principales Resultados de la COP24
- Fechas Clave

## Evolución de las emisiones de $CO_2$
## 1780 – 2010
## (230 Años)



# Cambio Climá

## UN AÑO EN LA VIDA DEL CO2 DE LA TIERRA




https://www.youtube.com/watch?v=x1SgmFa0r04

# Cambio Climá

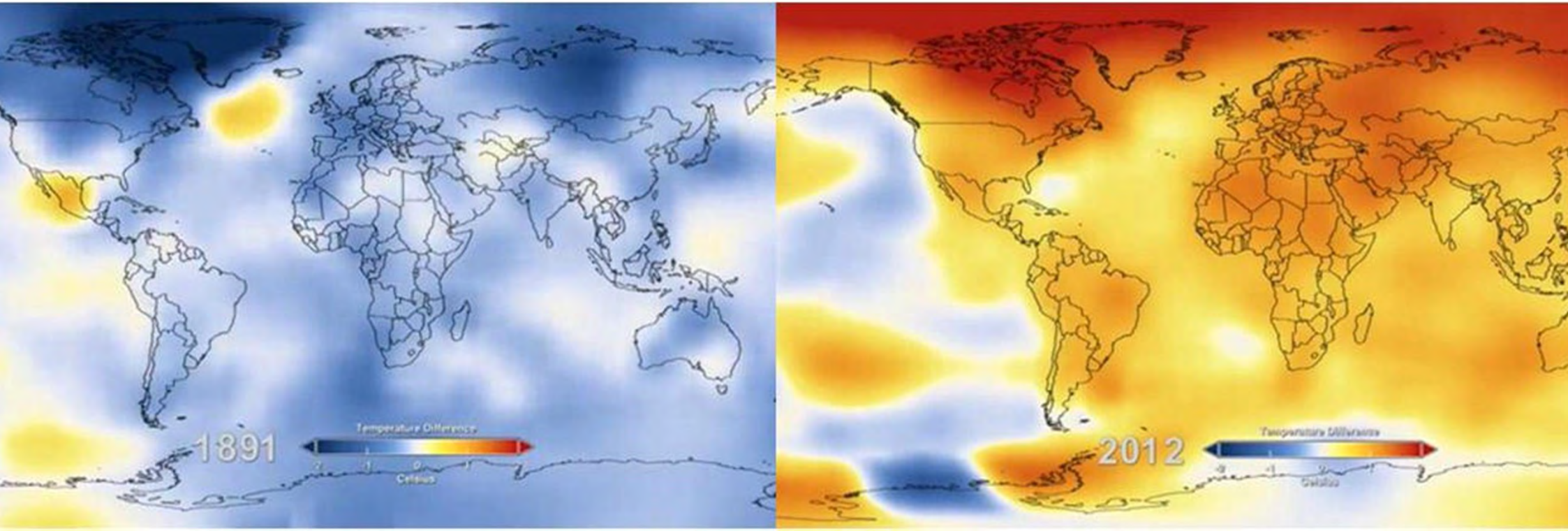
## MUNDO

| Ranking | País | 2016 | % part. | % var 16/15 | % var 90/16 | Acum. 2016 | % Acum 2016 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Mundo** | **32,314** | - | **0,12%** | **57,5%** | - | - |
| 1 | China | 9.056,8 | 28,0% | -0,5% | 328,9% | 9.056,8 | 28,0% |
| 2 | Estados Unidos | 4.833,1 | 15,0% | -1,8% | 0,6% | 13.889,9 | 43,0% |
| 3 | India | 2.076,8 | 6,4% | 2,5% | 292,6% | 15.966,7 | 49,4% |
| 4 | Federación Rusa | 1.438,6 | 4,5% | -1,9% | -32,1% | 17.405,3 | 53,9% |
| 5 | Japón | 1.147,1 | 3,5% | -0,5% | 10,6% | 18.552,4 | 57,4% |
| 6 | Alemania | 731,6 | 2,3% | 0,3% | -22,2% | 19.284,1 | 59,7% |
| **23** | **España** | **238,6** | **0,7%** | **-3,4%** | **17,8%** | **25.991,0** | **80,4%** |

| Ranking | País | 2016 |
|---|---|---|
| 1 | Qatar | 30,77 |
| 2 | Curaçao | 25,92 |
| 3 | Kuwait | 22,25 |
| 4 | Bahrain | 20,80 |
| 5 | Emiratos Árabes Unidos | 20,69 |
| 6 | Gibraltar | 18,99 |
| **53** | **España** | **5,14** |

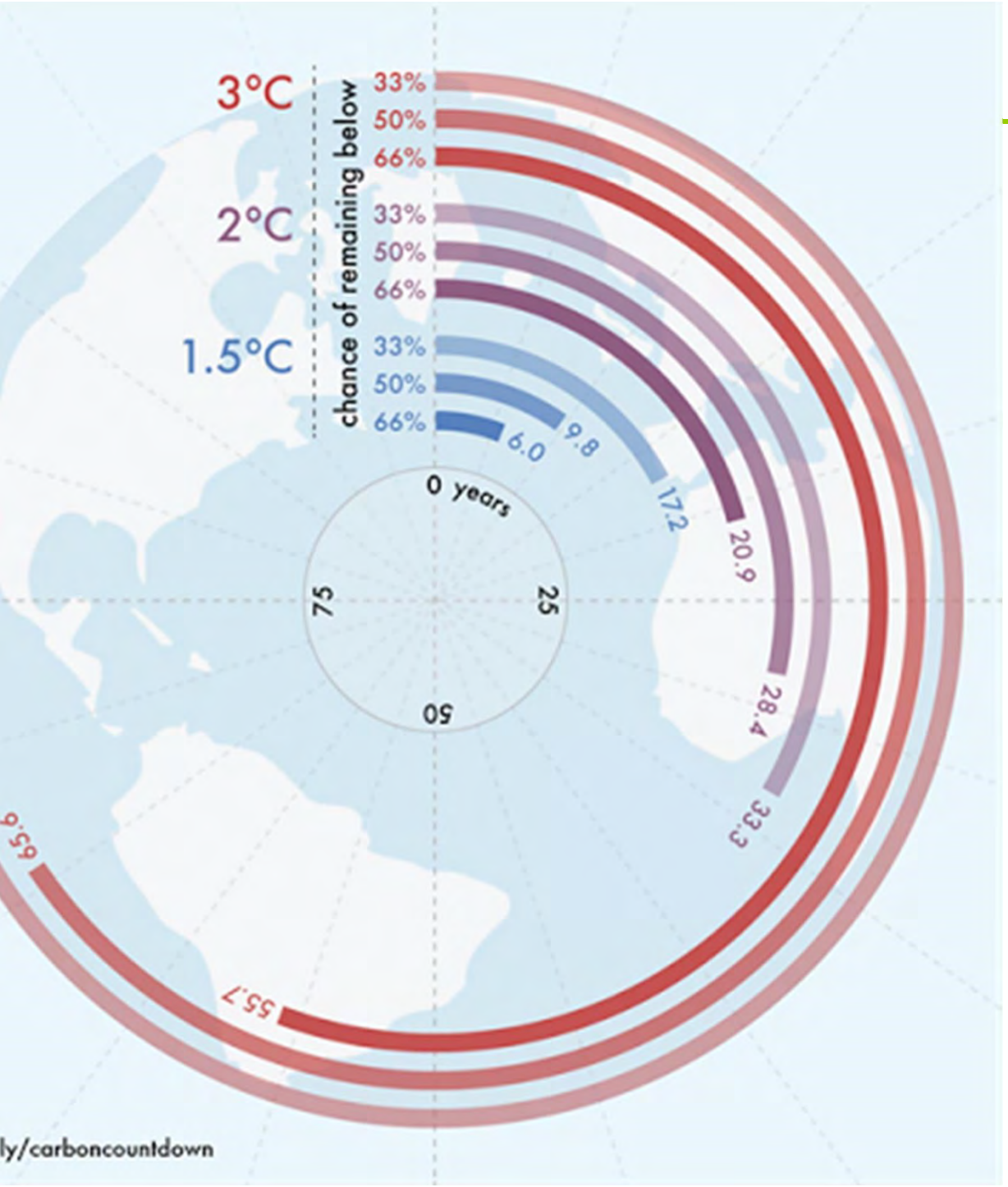
- **6 países** generan el **59,8 %** de las emisiones globales de GEI.
- Emisiones per cápita mundiales: **4,35 tn $CO_2$/hab (-1% vs 20**
- El sector de la energía es la principal fuente de GEI.

## Anomalías Globales de Temperatura
## 1981 – 2012
## (121 años)




*ASA.gov Video*

https://www.youtube.com/watch?v=TO03ColwxHE




# Cambio Climá

## La cuenta atrás del $CO_2$

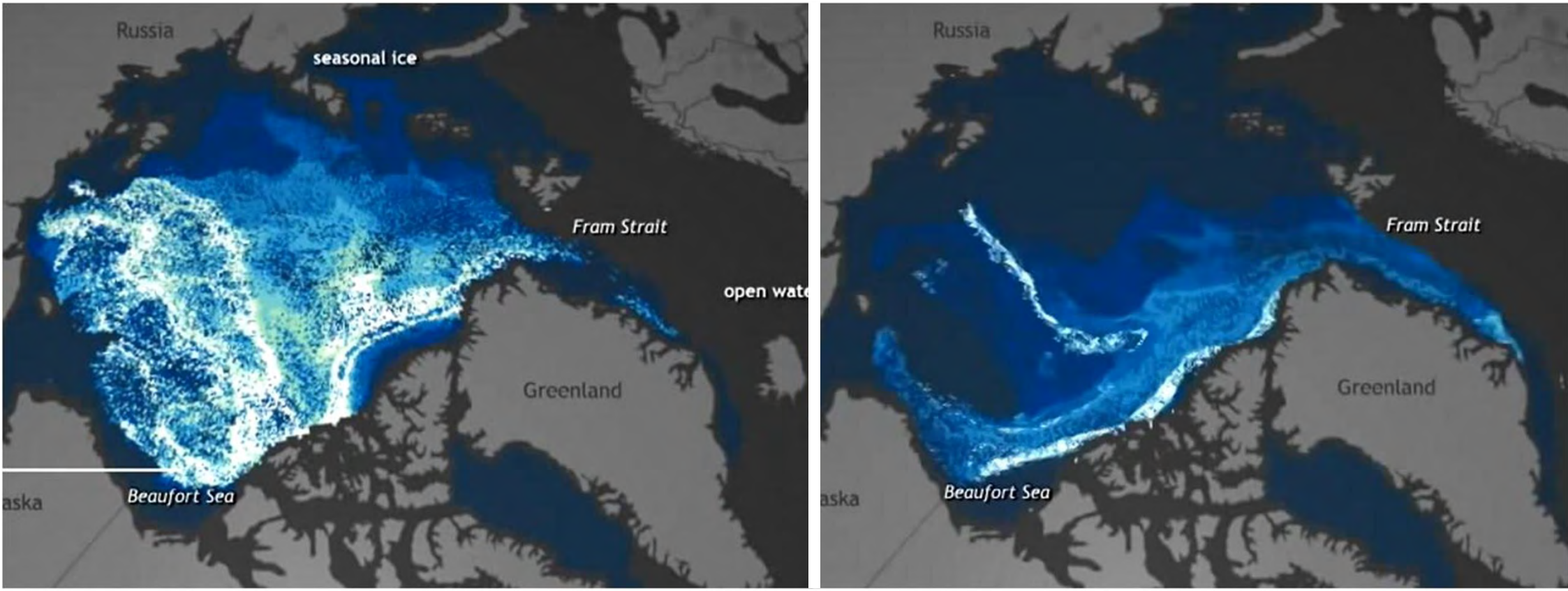
Si continuamos emitiendo $CO_2$ al ritmo actua

- **3ºC** se alcanzarán en..... **77 años (209**
- **2ºC** se alcanzarán en..... **28 años (204**
- **1,5ºC** se alcanzarán en..... **10 años (202**

..... Con un 50% de cert

# Cambio Climá

## 25 AÑOS DE DESHIELO ÁRTICO EN 1 MINUTO




*NOAA Climate.gov*

1987 2013

**EDAD DEL HIELO (AÑOS)**

1 2 4 6 8 >9

https://www.youtube.com/watch?v=1_kddWsh4-Y

# Cambio Climá

## Cómo seria la Tierra si todo el hielo se derritiera

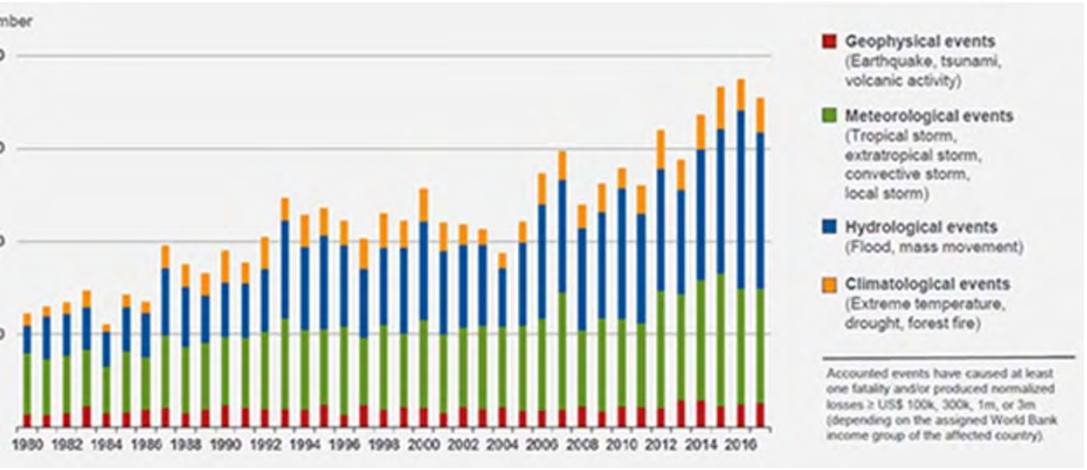
http://www.infobae.com/2015/04/03/1719894-video-que-ciudades-desapareceran-si-se-derriten-los-hielos

# Cambio Climá

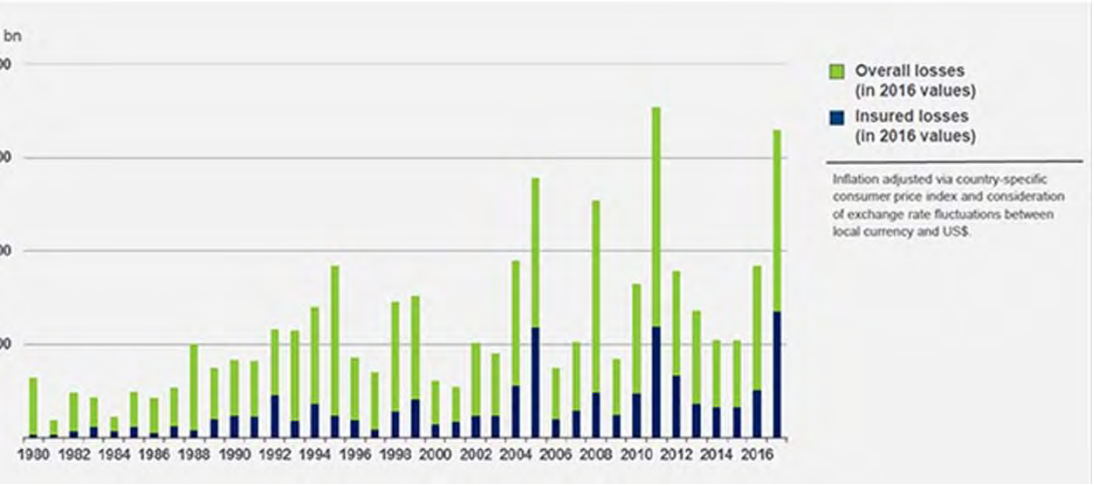
## Catástrofes Naturales en el Mundo
## 1980 - 2017

2017

*Catástrofes climáticas*



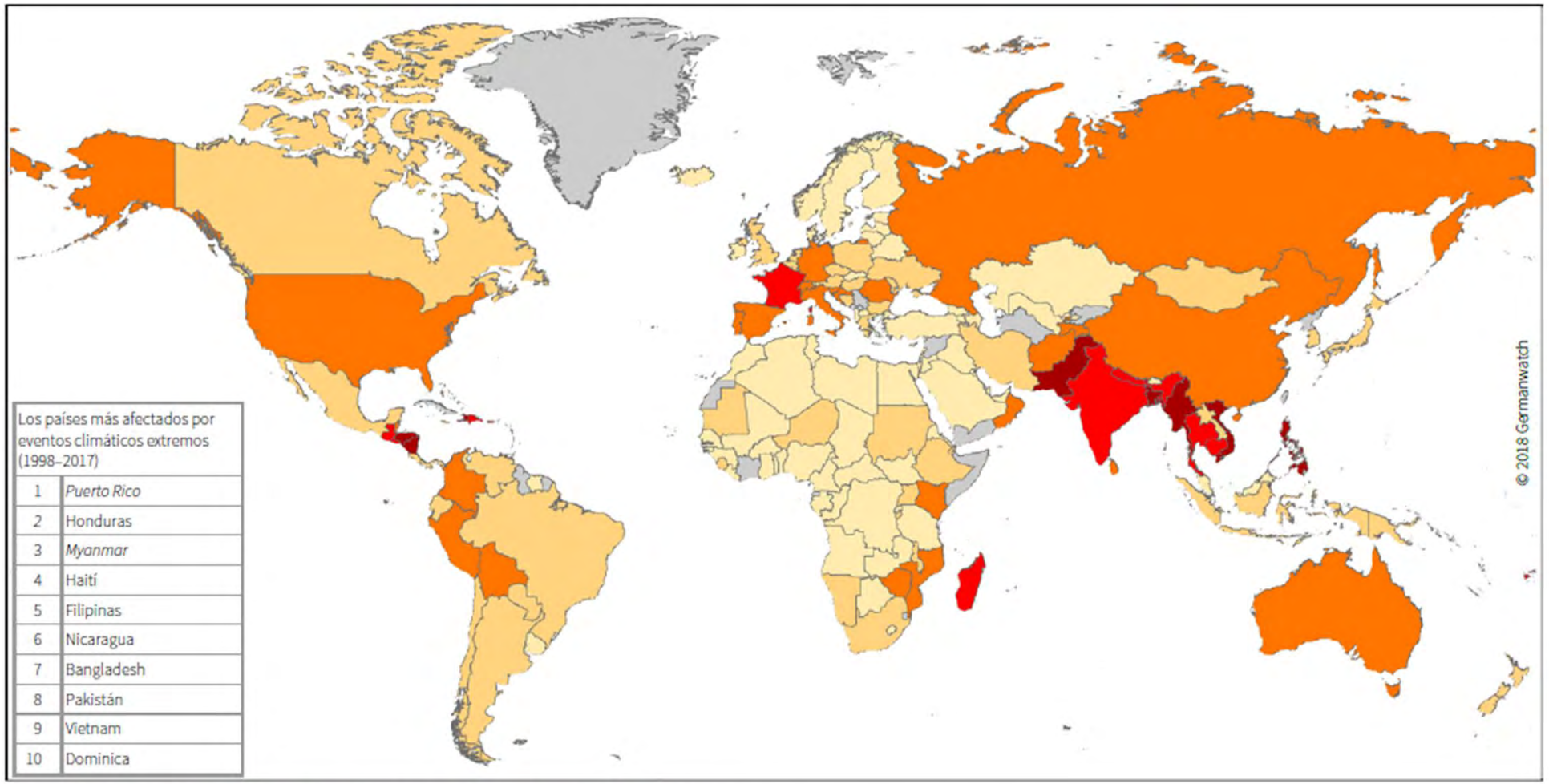

*Perdidas totales y aseguradas*



## Los 10 Países más afectados por el cambio climático
## Índice de Riesgo Climático 1997- 2017

| Ranking 2017 (2016) | País | Valor IRC | Muertos | Muertos por 100 000 habitantes | Pérdida en millones de dólares (PPA) | Pérdidad por unidad PBI en % | HDI (Índice de Desarrollo Humano) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** (105) | Puerto Rico[6] | 1,50 | 2 978 | 90,242 | 82 315,24 | 63,328 | - |
| **2** (4) | Sri Lanka | 9,00 | 246 | 1,147 | 3 129,35 | 1,135 | 76 |
| **3** (120) | Dominica | 9,33 | 31 | 43,662 | 1 686,89 | 215,440 | 103 |
| **4** (14) | Nepal | 10,50 | 164 | 0,559 | 1 909,98 | 2,412 | 149 |
| **5** (39) | Perú | 10,67 | 147 | 0,462 | 6 240,63 | 1,450 | 89 |
| **6** (5) | Vietnam | 13,50 | 298 | 0,318 | 4 052,31 | 0,625 | 116 |
| **7** (58) | Madagascar | 15,00 | 89 | 0,347 | 693,04 | 1,739 | 161 |
| **8** (120) | Sierra Leona | 15,67 | 500 | 6,749 | 99,10 | 0,858 | 184 |
| **9** (13) | Bangladesh | 16,00 | 407 | 0,249 | 2 826,68 | 0,410 | 136 |
| **10** (20) | Tailandia | 16,33 | 176 | 0,255 | 4 371,16 | 0,354 | 83 |

## Los 10 Países más afectados por el cambio climático
## Índice de Riesgo Climático 1997 - 2017




*En cursiva: Los países en que 90% de las pérdidas / los casos mortales ocurrieron dentro de un año/ o un evento.*

## COMPARATIVA ENTRE SUPERAR LA TEMPERATURA MEDIA EN LA CUENCA MEDITERRÁNEA

| | 1,5º C | 2º C | 3º C |
|---|---|---|---|
| Disminución de la disponibilidad anual de agua | ↓ 9% | ↓ 17% | ↓ (33%) |
| Frecuencia de máximas de temperatura (temperatura màxima es una vez cada 20 años) | ↑ 173% | ↑ 478% | ↑ (1088%) |
| Aumento de la superfície quemada en incendios forestales en relación al periodo 1971-2000 | ↑ 41% | ↑ 62% | ↑ 97% |
| Aumento de días cálidos (temperatura màxima superior a los 30ºC) en relación al periodo de 1971-2000 | ↑ 11% | ↑ 16% | ↑ 26% |
| Aumento del número de noches tropicales (temperatura mínima superior a 20ºC) en relación al periodo 1971-2000 | ↑ 11% | ↑ 16% | ↑ 30% |
| Incremento de mortalidad debida a olas de calor en relación al periodo 1986-2005 | ↑ 1% | ↑ 2,1% | ↑ 7,3% (4ºC) |
| *Fuente: CarbonBrief* | | | |

# El Acuerdo de Par

# en 10 punto

FUNDACIÓN EMPRESA & CLIMA

Business value and climate com

# El Acuerdo de París en 10 pun

**92**

Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático – NYC (mayo)

Cumbre de la Tierra – Rio de Janeiro (junio)

**95** COP1 Berlín

**97** COP 3 Kyoto : Firma Protocolo de Kyoto

**05** Entrada en vigor Protocolo Kyoto

**07** COP 13 Bali: Hoja de ruta hacia la sustitución del Protocolo de Kioto

**08 – 2012** 1er Periodo reducciones Protocolo Kyoto

**15** COP 21 Paris: Firma Acuerdo de París

**16** COP 22 Marrakech: 187 países ratifican el Acuerdo de París

**18** COP24 Katowice: Protocolo Actuación del Acuerdo de Paris con datos fiables, medibles y verificables

# El Acuerdo de París en 10 pun

## OBJETIVO GLOBAL

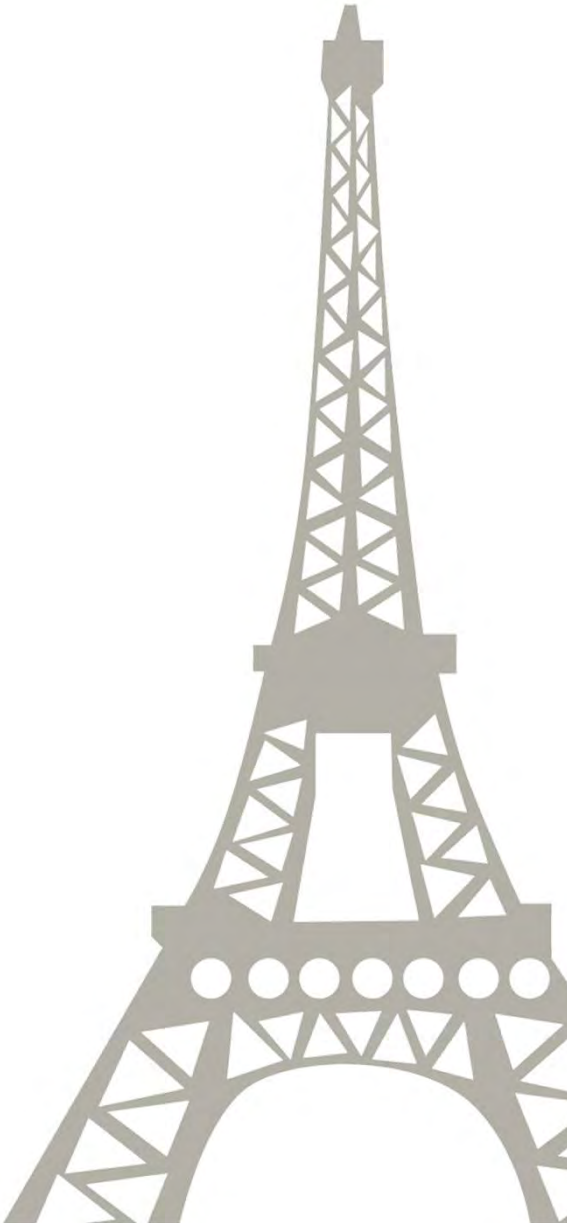
- Mantener el incremento de la T global por debajo de los **2ºC**
- Hacer todos los esfuerzos para mantener la T por debajo de los **1,5ºC**

## FORMA LEGAL

- Acuerdo legalmente vinculante

## PRINCIPIO DE RESPONSABILIDAD

- Países desarrollados, en desarrollo y menos desarrollados



# El Acuerdo de París en 10 pun

## OBJETIVO MITIGACIÓN

- Todos los países deben comunicar cada 5 años sus contribuciones de reducción de GEI (NDCs).

## ADAPTACIÓN

- Por 1ª vez se incluye una meta global de adaptación
- Aumentar capacidad de adaptación, fortalecer resiliencia y reducir vulnerabilidad

## TRANSPARENCIA Y RENDICIÓN DE CUENTAS

- Información pública y no punitiva
- Comunicación cada 2 años información cualitativa y cuantitativa de los NDCs
- Balance colectivo de progreso cada 5 años

# El Acuerdo de París en 10 pun

## FINANCIACIÓN

- Mín. 100.000 Mill $/año a partir de 2020: Fondos públicos, privados y otros mecanismos
- 2025 revisión cumplimiento

## PÉRDIDAS Y DAÑOS

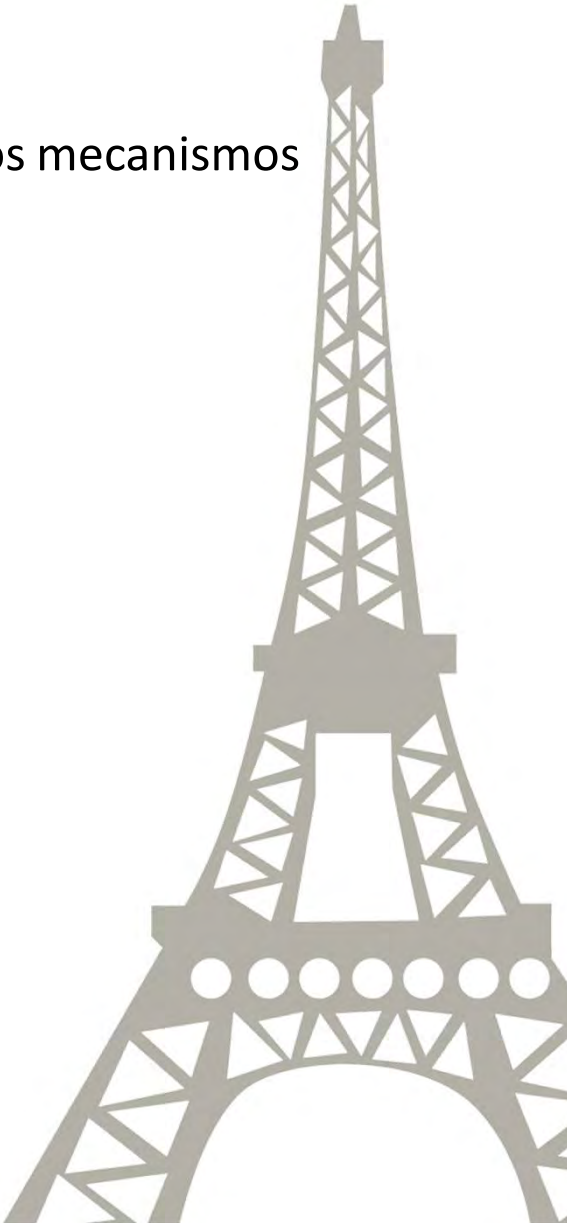
- Necesidad de medidas de apoyo

## INSTRUMENTOS

- Desarrollo y transferencia de tecnología
- REDD+
- Reducciones Voluntarias, mercados

## CALENDARIO

- 2016 presentación NDCs
- 2018 1ª evaluación de la situación
- 2020 Actualización NDCs
- 2023 1er Balance Global



# Resultados de la COP 2
# en 10 punto

FUNDACIÓN EMPRESA & CLIMA

Business value and climate com

# Resultados de la COP24 en 10 pun

OP24·KATOWICE 2018
NFERENCJA NARODÓW ZJEDNOCZONYCH
SPRAWIE ZMIAN KLIMATU

## CUMBRE MUY TÉCNICA

### RULE BOOK

- Reglas del juego comunes
- Transparencia
- Mecanismos de Mercado
- Financiación
- Aumentar ambición

### DIÁLOGO DE TALANOA

# RULE BOOK – PROTOCOLO DE ACTUACIÓN

Entrada en vigor enero 2021

## TRANSPARENCIA – Artículo 13

- Describe con qué frecuencia y con qué detalle hay que informar de los esfuerzos climático
- Sistema común de seguimiento medible, fiable, comprobable y verificable
- Informe de transparencia **bianual** con la siguiente información a incluir:
  - Emisiones
  - Progreso hacia el cumplimiento de los compromisos climáticos
  - Adaptación
  - Impactos climáticos
  - Financiación climática proporcionada o recibida.
- Entrada en vigor para todos los países 2024

# Resultados de la COP24 en 10 pun

## FINANCIACIÓN CLIMÁTICA – Artículo 9

- Establece las reglas para comunicar la previsión de financiación y la financiación ejecutada
- Los países desarrollados ***deberán*** reportar y los países en desarrollo ***deberían***
- A partir de 2020, los países desarrollados deberán informar cada **dos años** de la previsión d financiación
- Tipos de información a incluir:
  - Programas, sectores, países, regiones
  - Acciones de capacitación
  - Acciones de transferencia de tecnología
  - Planes para movilizar financiación adicional evitando la doble contabilidad
- El Secretariado de la Convención recopilará la información, analizará el inventario global y publicará la información en una plataforma *on line*
- En 2023 se revisarán las reglas

# Resultados de la COP24 en 10 pun

## GUÍAS PARA LOS COMPROMISOS CLIMÁTICOS – Artículo 4

3

- Establece las reglas de la información que debe contenerse en las NDCs (**C**ompromisos **N**acionales **D**eterminados) para facilitar la comparación y adicionalidad
- Todos los países deben usar la guía de contabilidad del IPCC (2006) que se revisará anualmente para calcular los inventarios nacionales
- A partir del 2031, todos los NDCs deberán cubrir el mismo periodo (pendiente de definir)
- La información será pública a partir del Interim Portal

## FONDO DE ADAPTACIÓN

4

- El Fondo de Adaptación inicialmente se alimentará de los mecanismos previstos en el Protocolo de Kyoto:
  - Mecanismos de mercado – artículo 6
  - Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) – artículo 12
  - Comercio de Derechos de Emisión – artículo 17
- Cuando el Fondo de Adaptación cumpla con el Acuerdo de París, se financiará con la participación de los ingresos de los mecanismos de mercado del Acuerdo de París (artículo y de fuentes voluntarias públicas y privadas.

# Resultados de la COP24 en 10 pun

## MECANISMOS DE MERCADO – Artículo 6

5

- Los países pueden comerciar con sus excedentes de sus compromisos climáticos. Los proyectos pueden generar créditos de carbono para vender.
- Establece las reglas para evitar doble contabilidad
- Discrepancias en cómo considerar acciones en sectores fuera de los NDCs
- Intención de sustituir los MDL por compensaciones de carbono
- El mercado de Carbono debe generar beneficios netos para la "mitigación general de las emisiones globales" (OMGE)
- Tema a retomar en la COP 25 (Chile)

## PÉRDIDAS Y DAÑOS

6

- Tema clave para los países vulnerables, como los pequeños estados insulares en desarrollo.
- Las reglas de inventario global añaden pérdidas y daños a la mezcla : los inventarios *"pueden tener en cuenta, según corresponda ... los esfuerzos para evitar, minimizar y aborda las pérdidas y daños asociados con los efectos adversos del cambio climático".*

# Resultados de la COP24 en 10 pun

## INVENTARIO GLOBAL (GLOBAL STOCKTAKE) – Artículo 14

- Ciclo de compromiso y revisión cada **cinco años**
- Balance del progreso hacia el objetivo a largo plazo de París de evitar el calentamiento glob y aumentar la ambición
- Debate sobre si los inventarios deben considerar sólo el progreso en la reducción de emisiones, la adaptación al cambio climático y la provisión de financiación u otros aspectos como “pérdidas y daños”

## INFORME IPCC 1,5ºC

- 50% de reducción de las emisiones mundiales en 2030 para evitar un incremento de 1,5ºC temperatura media respecto a la era pre-industrial
- Falta de acuerdo sobre el informe especial sobre los impactos del calentamiento global 1,5ºC, publicado en octubre (USA, Kuwait, Arabia Saudí y Rusia)

# Resultados de la COP24 en 10 pun

## OTROS

## Compliance

- Se prevé un comité de expertos "de naturaleza facilitadora ... no controvertida y no punitiv

## Sector privado

- Se anima la participación creciente del sector privado en: mitigación, adaptación, financiación …
- Participación activa del sector privado para impulsar la innovación con nuevos modelos de colaboración público-privada
- Desarrollo de nuevas tecnologías

## Sub-nations

- Papel creciente de las sub-naciones para el despliegue de estrategias, políticas, planes, acciones, etc

## DIÁLOGO DE TALANOA

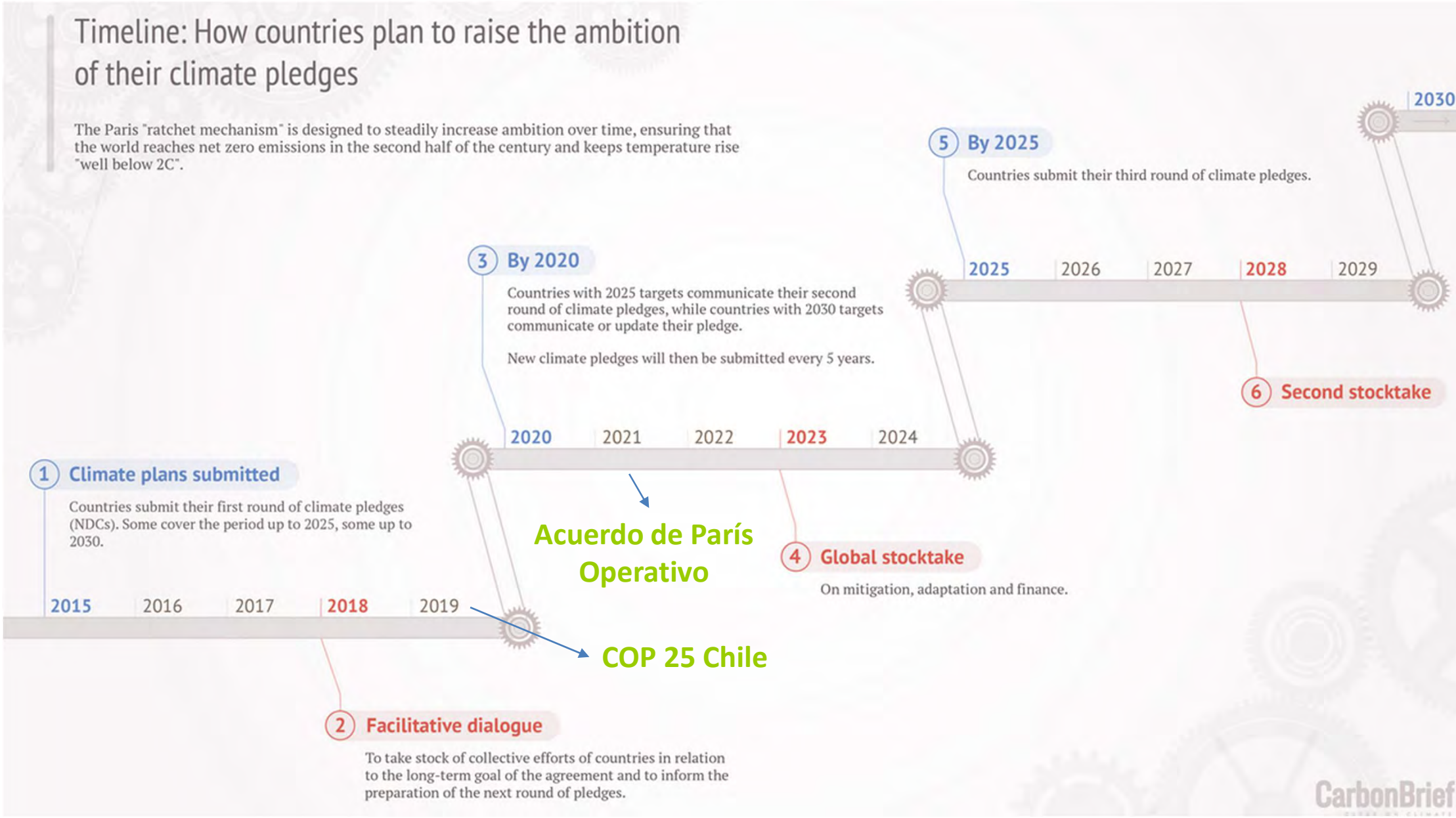
- Proceso iniciado en enero de 2018 para aumentar la ambición de los compromisos climátic
- Los países deben actualizar sus NDCs en 2020
- Cada NDC debe **aumentar su ambición** respecto al anterior (*ratchet mechanism*)
- Se reconocen diferentes realidades nacionales
- Balance de progreso en 2018 para impulsar la ambición en la siguiente actualización de ND
- Varias docenas de países de la "**Coalición de Alta Ambición“ (UE, UK, Alemania, Francia, Argentina, México y Canadá,…) se comprometieron a "aumentar**" su ambición para 2020

# Fechas Clav

FUNDACIÓN EMPRESA & CLIMA

Business value and climate com

# Fechas Cl


Timeline: How countries plan to raise the ambition of their climate pledges
The Paris "ratchet mechanism" is designed to steadily increase ambition over time, ensuring that the world reaches net zero emissions in the second half of the century and keeps temperature rise "well below 2C".
1 Climate plans submitted
Countries submit their first round of climate pledges (NDCs). Some cover the period up to 2025, some up to 2030.
2015 2016 2017 2018 2019
2 Facilitative dialogue
To take stock of collective efforts of countries in relation to the long-term goal of the agreement and to inform the preparation of the next round of pledges.
COP 25 Chile
3 By 2020
Countries with 2025 targets communicate their second round of climate pledges, while countries with 2030 targets communicate or update their pledge.
New climate pledges will then be submitted every 5 years.
2020 2021 2022 2023 2024
Acuerdo de París Operativo
4 Global stocktake
On mitigation, adaptation and finance.
5 By 2025
Countries submit their third round of climate pledges.
2025 2026 2027 2028 2029
6 Second stocktake
2030
CarbonBrief

FUNDACIÓN EMPRESA & CLIMA

Good for you
Good for the enviroment

C/Mallorca 277 4º A, 08037 Barcelona
T: 00 34 930 047 517
E: Info@empresaclima.org
www.empresaclima.org
@empresa_clima

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

9:30 - 9:45 **CONFERENCIA."Lucha contra la pobreza energética: Comprometidos con las personas y el medio ambiente"**

**Pablo Navajo Gómez**. Director Formación y Medio Ambiente. **CRUZ ROJA ESPAÑOLA**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# Lucha contra la pobreza energética: Comprometidos con las personas y el medio ambiente

Pablo Navajo Gomez

Cruz Roja Española

AEE The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice


1 La pobreza energética: Definición

2 La pobreza energética: Medición

3 El acceso a la energía como derecho

4 Efectos de la pobreza energética

5 La intervención de Cruz Roja Española

6 Comprometidos con las personas y el medio ambiente

# Índice


1 La pobreza energética: Definición

2 La pobreza energética: Medición

3 El acceso a la energía como derecho

4 Efectos de la pobreza energética

5 La intervención de Cruz Roja Española

6 Comprometidos con las personas y el medio ambiente

# Pobreza Energética: Definición

**La pobreza energética se entiende como la consecuencia de una condición más extensa y difusa denominada vulnerabilidad energética, definida como la *probabilidad de un hogar a experimentar una situación en la que dicho hogar no recibe una cantidad adecuada de servicios de la energía* (Bouzarovski and Petrova, 2015).**

**Este enfoque explica la pobreza energética como una condición temporal causada por condiciones estructurales y coyunturales que van más allá de la triada de factores tradicionalmente considerados:**

- **Ingresos del hogar**
- **Precios de la energía**
- **Eficiencia energética de la vivienda**

# Pobreza Energética: Definición

***"Incapacidad [de un hogar] de alcanzar un nivel social y materialmente necesario de servicios domésticos de la energía"***

**Bouzarovski and Petrova, 2015**

# Pobreza Energética: Definición

**La pobreza energética es la situación en la que se encuentra un hogar en el que no pueden ser satisfechas las necesidades básicas de suministros de energía, como consecuencia de un nivel de ingresos insuficiente y que, en su caso, puede verse agravada por disponer de una vivienda ineficiente en energía.**

**MITECO, 2019**

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

| Factor | Fuerza Motriz |
|---|---|
| Acceso | Baja disponibilidad de vectores energéticos adecuados para cubrir las necesidades del hogar |
| Asequibilidad | Desproporción entre el coste de la energía y los ingresos del hogar, incluyendo el papel de impuestos y mecanismos de asistencia. Incapacidad de invertir en la construcción de nuevas infraestructuras energéticas. |
| Flexibilidad | Incapacidad de cambiar de un modo de provisión de energía que sea apropiado para las necesidades del hogar |
| Eficiencia energética | Pérdida desproporcionada de energía útil en la conversión de energía primaria a servicios de la energía en el hogar |
| Necesidades | Desajuste entre requerimientos energéticos del hogar y servicios de la energía disponible por razones sociales, culturales, económicas o de salud. |
| Prácticas | Falta de conocimiento sobre programas de apoyo o formas eficientes de uso de energía en el hogar. |

Fuente: Bouzarovski y Petrova (2015)

# Índice


1 La pobreza energética: Definición

2 La pobreza energética: Medición

3 El acceso a la energía como derecho

4 Efectos de la pobreza energética

5 La intervención de Cruz Roja Española

6 Comprometidos con las personas y el medio ambiente

# Pobreza Energética: Indicadores

- **Porcentaje de población que se declara incapaz de mantener la vivienda a una temperatura adecuada (ECV).**
- **Porcentaje de población que declara retrasos en el pago de las facturas de la vivienda (ECV).**
- **Gastos desproporcionados: porcentaje de población para el que los gastos reales en energía doméstica (como porcentaje de ingresos totales del hogar) está dos veces por encima de la mediana (EPF)**
- **Pobreza energética escondida: porcentaje de población para el que el gasto total en energía doméstica está por debajo de la mitad de la mediana nacional. (EPF)**

Encuesta de Presupuestos Familiares (EPF)
Encuesta de Condiciones de Vida (ECV)

# Pobreza Energética: Indicadores - Evolución

| INDICADOR (% población) | 2008 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|---|---|---|---|---|---|
| GASTO DESPROPORCIONADO (2M) | 15,9 | 16,6 | 16,6 | 16,7 | 17,3 |
| POBREZA ENERGÉTICA ESCONDIDA (HEP) | 14,6 | 13,2 | 12,2 | 12,6 | 11,5 |
| TEMPERATURA INADECUADA DE LA VIVIENDA EN INVIERNO | 5,9 | 11,1 | 10,6 | 10,1 | 8,0 |
| RETRASO EN EL PAGO DE LAS FACTURAS | 4,6 | 9,2 | 8,8 | 7,8 | 7,4 |

# Pobreza Energética: Indicadores

- **6,8 millones (15% de la población), estarían sufriendo condiciones asociadas a la pobreza energética, temperaturas inadecuadas en la vivienda o retraso en el pago de recibos, o ambos.**
- **2,8 millones (6% de la población)declararon tener dos o más retrasos en el pago de recibos en los últimos 12 meses.**
- **13,3 millones (29% de la población) estarían en dificultades, bien por gastos desproporcionados en relación a sus ingresos, bien por escaso gastos**
- **900 mil (el 2% de la población) por dificultades económicas dejaron de disponer de sus fuentes habituales de energía doméstica,**
- **855.344, son atenidas por Cruz Roja**

«*La pobreza energética se convierte generalmente en un círculo vicioso. La pobreza fuerza a las personas a vivir en viviendas baratas y de mala calidad que son difíciles de calentar, lo que incrementa las facturas.*

*Las circunstancias personales y del hogar de las personas que sufren pobreza pueden ocasionar que precisen caldear su vivienda por períodos de tiempo más largos y con mayor intensidad (desempleo, o empleo precario, enfermedades crónicas o discapacidad, presencia de menores de edad).*

*El incremento de los precios y la disminución de los ingresos coloca a los hogares ante cada vez más inaceptables elecciones entre la energía y otras necesidades clave como la alimentación o el equipamiento escolar y les fuerzan a endeudarse.*

*La salud física y mental se ven severamente afectadas con impactos en el bienestar, pero también en la capacidad para trabajar, relacionarse y participar. Esto tiene, a la vez, importantes impactos negativos en el crecimiento y la economía*» **(JONES , 2016, p.28)**

JONES, S. (2016). Social causes and consequences of energy poverty. En Csiba, K. (ed.), Energy poverty handbook (21-37). Brussels: Katalin Csiba. Obtenido de http://meszerics.eu/pdf/energypovertyhandbook-online.pdf(última consulta 07/06/17).

# Índice


1 La pobreza energética: Definición

2 La pobreza energética: Medición

3 El acceso a la energía como derecho

4 Efectos de la pobreza energética

5 La intervención de Cruz Roja Española

6 Comprometidos con las personas y el medio ambiente

# Acceso a la energía como derecho

**Este planteamiento implica garantizar un nivel adecuado de servicios de la energía doméstica, especialmente para aquellos segmentos de población más desfavorecidos**

**Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 7, según el cual la comunidad internacional se compromete a la garantizar "*el acceso a la energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos*".**

**Este objetivo abarca tres metas a alcanzar en 2030:**

- **asegurar el acceso universal**
- **duplicar la cuota de energía renovable**
- **duplicar la tasa de mejora de la eficiencia energética**

# La directiva del Parlamento Europeo y del Consejo

- **Refuerza los aspectos sociales de la eficiencia energética, establece el requisito de que se tenga en cuenta la pobreza energética al configurar los sistemas de obligaciones de eficiencia energética y las medidas alternativas.**
- **La reducción de la factura energética será también especialmente beneficiosa para los consumidores más vulnerables.**
- **Las mejoras de eficiencia energética de los edificios deben beneficiar, en particular, a los consumidores afectados por la pobreza energética.**
- **Las políticas de eficiencia energética de la Unión deben ser integradoras y, por tanto, garantizar el acceso de los consumidores afectados por la pobreza energética a las medidas de eficiencia energética.**

*Es fundamental que las familias vulnerables dispongan de una **vivienda eficiente y sostenible** que reduzca el gasto, pero la realidad actual es que estas familias **viven en las casas más ineficientes**.*

# Índice


1 La pobreza energética: Definición

2 La pobreza energética: Medición

3 El acceso a la energía como derecho

4 Efectos de la pobreza energética

5 La intervención de Cruz Roja Española

6 Comprometidos con las personas y el medio ambiente

# Efectos de la pobreza energetica

- **Salud.**
- **Disyuntiva alimentación o calefacción.**
- **Necesidad de recortar determinados capítulos del presupuesto familiar para poder abordar otros.**
- **Niños resultados menos favorables en el rendimiento académico.**
- **Incremento de conductas de riesgo.**
- **Dificultades en la búsqueda de empleo.**
- **Disminución de los contactos sociales y de las oportunidades educativas y laborales.**

# Efectos de la pobreza energética

- **El 50% de las familias atendidas por Cruz Roja se ven obligadas a elegir entre pagar gastos básicos, como llevar una alimentación adecuada o calentar sus hogares**
- **El 77% de las personas afirma que tiene dificultades para llegar a fin de mes.**
- **Para el 65% los gastos de la vivienda suponen 'una carga pesada'**
- **El 37% afirma que 'pasa frio en su hogar' durante el invierno.**
- **El 52,6% consecuencias en la salud**
- **Un 35,3% efectos negativos en el ámbito social**
- **29,6% Absentismo laboral**
- **19,5% impacto en la búsqueda de empleo**
- **28,5% Absentismo escolar y menor rendimiento académicos**

# Bono social y tarifa regulada

- **El 19% utiliza el bono social y el 54% dice no conocerlo**
- **La tarifa regulada PVPC (Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor), sólo la utiliza un 3,5% y el 90% dice desconocerla**

*La pobreza energética en España podría ser responsable en España de, en promedio, 7.100 muertes prematuras al año, es decir, del 30% de las 24.000 muertes adicionales en invierno registradas en España*

**World Health Organisation, 2011**

# Índice


1 La pobreza energética: Definición

2 La pobreza energética: Medición

3 El acceso a la energía como derecho

4 Efectos de la pobreza energética

5 La intervención de Cruz Roja Española

6 Comprometidos con las personas y el medio ambiente

Cruz Roja trabaja con personas en situación de extrema vulnerabilidad priorizando tres ámbitos:

- Vulnerabilidad económica
- Exclusión residencial de las personas sin hogar
- Población que habita en zonas desfavorecidas

- Cobertura a necesidades básicas (entrega de alimentos, vestuario, material de higiene y enseres, así como el pago de suministros).
- Prevención de la exclusión residencial, a través del apoyo y mediación en la negociación de hipotecas o alquileres, pagos puntuales de cuotas, apoyo psicológico y capacitación en temas de ahorro doméstico;
- El apoyo a la escolarización, con becas comedor, material y equipamiento escolar.

# La Respuesta de Cruz Roja en el ámbito de la vivienda y la pobreza energética

## Principales respuestas

**ATENCIÓN URGENTE A LAS NECESIDADES BÁSICAS**

Personas

238.501

**ATENCIÓN INTEGRAL A PERSONAS SIN HOGAR**

Personas

+26.000 personas

**AYUDAS PAGO SUMINISTROS (2017)**

Ayudas pago suministros

+19.000 personas

Número de ayudas

34.000

Coste

3.000.000 euros

**PREVENCIÓN DE LA EXCLUSIÓN RESIDENCIAL**

Ayudas pago cuotas relacionadas con la vivienda (alquiler,...)

+25.000 personas

Hogares

5.900

Coste

379,52€ por familia

# Índice


1 La pobreza energética: Definición

2 La pobreza energética: Medición

3 El acceso a la energía como derecho

4 Efectos de la pobreza energética

5 La intervención de Cruz Roja Española

6 Comprometidos con las personas y el medio ambiente

# Marco del llamamiento

## Responsabilidad Social

- ODS
  Acuerdos de Paris
- Lucha contra el cambio climático
- Reducción y compensación huella de carbono

## Misión CRE

- Principios, Resoluciones AG Plan de Acción
- Estar cada vez más cerca de las personas vulnerables en los ámbitos nacional e internacional
- Lucha contra la pobreza energética

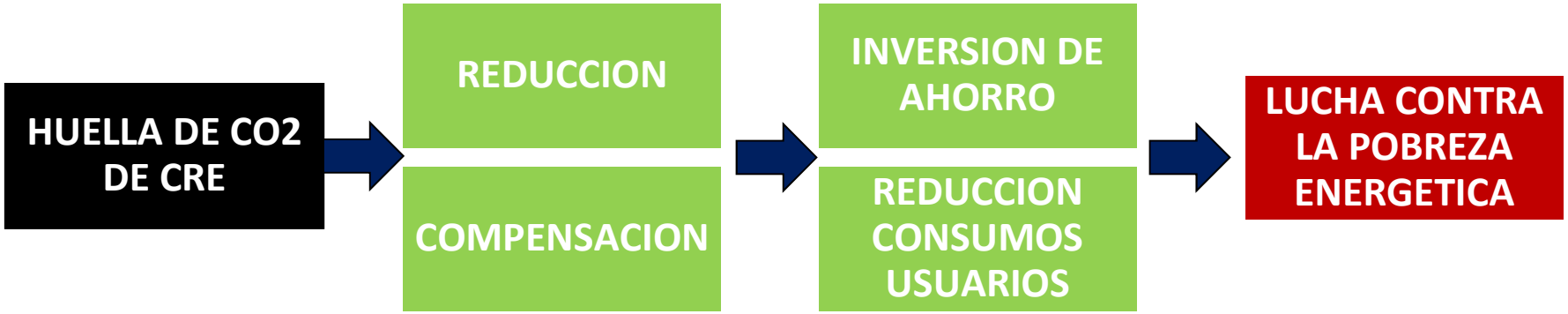
# Compromisos

- **Ámbito interno. Reducir la emisión de GEI, disminuyendo el impacto ambiental generado durante la realización de las actividades propias de la Institución.**
  - **Nos comprometemos a realizar un uso energético sostenible de nuestra actividad.**
  - **Tomaremos medidas que afecten tanto a los cambios de comportamiento del voluntariado y personal laboral, como aquellas que nos permitan ser más eficientes en el uso de la energía.**
- **Ámbito externo. Trabajar con los colectivos vulnerables en el ámbito nacional e internacional, implantando medidas de eficiencia energética y reduciendo el impacto de la pobreza energética.**

Esta iniciativa pretende **fomentar la corresponsabilidad de Cruz Roja y las empresas sobre el cambio climático y la lucha contra la pobreza energética**, proponiendo que:

- Cada Asamblea sea **consciente** de su generación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)
- Establezca medidas para la **reducción** de sus emisiones
- Dedique el ahorro producido por la reducción de consumos a **proyectos de lucha contra la pobreza energética**
- **Compense** sus emisiones a través de la reducción de consumos del proyecto de Lucha contra la Pobreza Energética.

# Lógica del llamamiento



**Con este llamamiento, que tendrá una duración inicial de tres años, pretendemos ofrecer respuestas integrales a la lucha contra el cambio climático; desde la dimensión interna de la Institución con la puesta en marcha de medidas de reducción de GEI y el control de las emisiones, y una dimensión externa trabajando con nuestros colectivos vulnerables en la lucha contra la pobreza energética.**

# ¿Que hacemos?

- **Talleres de economía doméstica, recomendaciones sobre buenas prácticas ambientales a realizar en el hogar, incluyendo cambio de hábitos y comportamientos.**
- **Dotación a las familias de un kit de micro eficiencia energética para el hogar.**
- **Estudio de sus facturas eléctricas y la emisión de informe de recomendaciones acerca de la posibilidad de solicitar el bono social, cambio de potencia contratada, etc.**
- **Pequeñas rehabilitaciones en el hogar.**
- **Capacitación de personas voluntarias**
- **Alianzas con empresas**

# Intervención de CRE en el marco del Llamamiento "Comprometidos con las personas y el medio ambiente"

# Resultados Esperados

- **Contribuiremos a los objetivos de la conferencia de París sobre Cambio Climático y a los ODS.**
- **Reduciremos la emisión de GEI de la Institución.**
- **Compensaremos las emisiones de CO2 para asegurar una entidad sostenible y responsable medioambientalmente**
- **Financiaremos la lucha contra la pobreza energética de los colectivos vulnerables en situación de riesgo de pobreza en el ámbito nacional e internacional.**
- **Ayudaremos a los hogares con dificultades para hacer frente al pago de sus suministros de energía a través del fomento de un uso responsable de la energía.**
- **Fomentaremos la colaboración entre empresas y CRE para paliar la pobreza energética.**

# Las cifras del llamamiento

**La huella de Carbono de Cruz Roja Española en 2017 ha sido de 15.975,16 toneladas**

**Ratio de compensación es:**
**1 familia = 1 Tonelada CO2 = inversión 120€/año,**

**Inversión en lucha contra la pobreza energética de 1.917.019 € y 15.975 familias atendidas.**

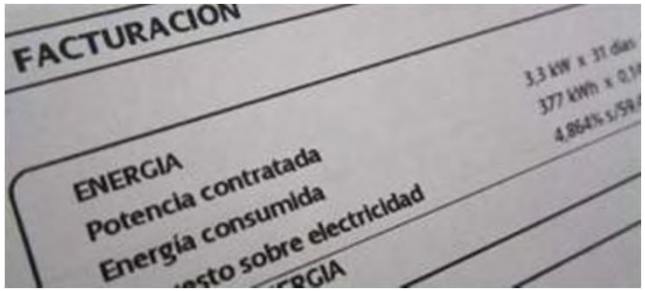
**Fondo adicional 1.430.000 €**

**Con el compromiso de atención a 15.975 familias, más la ampliación del fondo del llamamiento, se espera llegar al total de familias atendidas en 2019 de 24.315 familias.**

Siendo el **coste del kit de aproximadamente de unos 80€,** se consigue una reducción anual en términos económicos de **90€/ anuales** en la factura del hogar y una reducción de unos **11`70KgCO2/kit**.

Reducir una tonelada supone trabajar con 85,5 familias.

**Una Tonelada de CO2 emitida** → **120€ invertidos en compensación** → **Trabajo con una familia**



# Emisiones contempladas

**Directas**

- **Emisiones de CO2 asociadas a la energía primaria consumida en aplicaciones estacionarias (calderas, cocinas, etc.) en punto de consumo.**
- **Emisiones de CO2 equivalentes de las fugas por refrigerante de equipos de aire acondicionado.**
- **Emisiones de CO2 asociadas a la energía primaria consumida en aplicaciones móviles (vehículos de tierra y agua).**

**Indirectas**

- **Emisiones de CO2 indirectas asociadas a la energía eléctrica consumida en punto de consumo. Se tienen en cuenta las diferentes comercializadoras**

# Conclusiones

- **Proyecto que vincula temas medio ambientales y el trabajo con los colectivos mas vulnerables.**
- **Relaciona aspectos de gestión ambiental interna con la actividad mas propia de Cruz Roja.**
- **Requiere de la participación del voluntariado y del personal laboral.**
- **Permite implicar a empresas y donantes y a la sociedad en general**

# Índice


1 La pobreza energética: Definición

2 La pobreza energética: Medición

3 El acceso a la energía como derecho

4 Efectos de la pobreza energética

5 La intervención de Cruz Roja Española

6 Comprometidos con las personas y el medio ambiente

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Cruz Roja Española

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Llamamiento de Lucha contra la pobreza energética: "Comprometidos con las personas y el medio ambiente"

**Autores de la comunicación: Pablo Navajo Gómez[1]; Mª Teresa de Miguel Tarancón[2]; Sara Casas Osorio[3]**

1 Avenida Reina Victoria, 23, 28003 Madrid. navajo@cruzroja.es
2 Calle Muguet, 7, 28044 Madrid. maite@cruzroja.es
3 Avenida Reina Victoria, 23, 28003 Madrid. sco@cruzroja.es

**Resumen:** Cruz Roja Española, en su compromiso con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), y su objetivo de estar "*cada vez más cerca de las personas*" en situación de vulnerabilidad, lanza este proyecto en 2018, con una duración inicial de tres años (2018-2020) con los objetivos de reducir la emisión de gases de efecto invernadero, disminuyendo el impacto ambiental generado durante la realización de las actividades propias de la Institución y trabajar con los colectivos vulnerables en el ámbito nacional e internacional, implantando medidas de eficiencia energética y reduciendo el impacto de la pobreza energética.

**Palabras clave:** eficiencia energética, economía sostenible, huella de CO2, pobreza energética, vulnerabilidad

## 1. LA POBREZA ENERGÉTICA: DEFINICIÓN

La pobreza energética es una cara más de la pobreza y la exclusión social. Es un problema cada vez más presente en la agenda política y entre la ciudadanía. Hablar de pobreza energética ha logrado visibilizar un aspecto de la pobreza, hasta hace poco, desconocido y oculto en la intimidad de los hogares, una situación vergonzante que pocos se atrevían a confesar.

Pero, ¿Qué es la pobreza energética?, aquí nos encontramos el primer reto, su definición. En 2012 la Asociación de Ciencias Ambientales (ACA) la definía como una situación en la que un hogar es "***incapaz de pagar*** *una cantidad de energía suficiente para la satisfacción de sus necesidades domésticas y/o cuando se ve obligado a destinar una parte excesiva de sus ingresos a pagar la factura energética de su vivienda*" (Tirado Herrero et al., 2012)[1]. Posteriormente se desarrollaron definiciones ligadas al acceso a servicios básicos, como la aproximación de Bouzarovski y Petrova (2015)[2] "*incapacidad [de un hogar] de alcanzar un nivel social y materialmente necesario de* ***servicios domésticos*** *de la energía*".

Para el Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO), en la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2019-2024[3], "*La pobreza energética es la situación en la que se encuentra un hogar en el que no pueden ser satisfechas las* ***necesidades básicas*** *de suministros de energía, como consecuencia de un* ***nivel de ingresos insuficiente*** *y que, en su caso, puede verse agravada por disponer de una* ***vivienda ineficiente*** *en energía*".

Se opta por contemplar entre los criterios que permitirán definir qué hogares están en situación de pobreza los siguientes:

- La existencia de bajos ingresos en la unidad familiar.
- El elevado gasto energético sobre la renta disponible.

---

[1] Tirado Herrero, S., López Fernández, J.L., Martín García, P., 2012. Pobreza energética en España, Potencial de generación de empleo directo de la pobreza derivado de la rehabilitación energética de viviendas. Asociación de Ciencias Ambientales, Madrid, Spain.

[2] Bouzarovski, S., Petrova, S., 2015. A global perspective on domestic energy deprivation: Overcoming the energy poverty–fuel poverty binary. Energy Res. Soc. Sci. 10, 31–40. https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.06.007

[3] Ministerio para la Transición Ecológica. Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2019-2024. https://www.miteco.gob.es/es/prensa/estrategianacionalcontralapobrezaenergetica2019-2024_tcm30-496282.pdf

- Una escasa eficiencia energética en el hogar.

Podemos encontrarnos dos conceptos relacionados **vulnerabilidad energética** "*la propensión de un hogar a experimentar una situación en la que dicho hogar no recibe una cantidad adecuada de servicios de la energía*" (Bouzarovski y Petrova, 2015)[4] . Y en el marco de la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2019-2024, **consumidor vulnerable** "*es el consumidor de energía eléctrica o de usos térmicos que se encuentra en situación de pobreza energética, pudiendo ser beneficiario de las medidas de apoyo establecidas por las administraciones.*"

**Tabla I. Factores de vulnerabilidad energética y sus elementos constituyentes.**

| Factor | Fuerza Motriz |
|---|---|
| **Acceso** | Baja disponibilidad de vectores energéticos adecuados para cubrir las necesidades del hogar |
| **Asequibilidad** | Desproporción entre el coste de la energía y los ingresos del hogar, incluyendo el papel de impuestos y mecanismos de asistencia. Incapacidad de invertir en la construcción de nuevas infraestructuras energéticas. |
| **Flexibilidad** | Incapacidad de cambiar de un modo de provisión de energía que sea apropiado para las necesidades del hogar |
| **Eficiencia energética** | Pérdida desproporcionada de energía útil en la conversión de energía primaria a servicios de la energía en el hogar |
| **Necesidades** | Desajuste entre requerimientos energéticos del hogar y servicios de la energía disponible por razones sociales, culturales, económicas o de salud. |
| **Prácticas** | Falta de conocimiento sobre programas de apoyo o formas eficientes de uso de energía en el hogar. |

*Fuente: Bouzarovski y Petrova*

## 2. LA POBREZA ENERGÉTICA: MEDICIÓN

¿Cuántas personas se encuentran en situación de pobreza energética en España? En enero de 2018 fue presentado el Observatorio Europeo de la Pobreza Energética (EPOV) [5], una iniciativa de la Comisión Europea que ha realizado una selección de indicadores para la medición de la pobreza energética, con el objetivo de poder realizar un análisis de la situación actual, monitorizar la efectividad de las medidas adoptadas y poder realizar comparaciones entre los Estados miembros. Los indicadores se obtienen a partir de los datos de la Encuesta de Condiciones de Vida (ECV) [6] y

[4] Bouzarovski, S., Petrova, S., 2015. A global perspective on domestic energy deprivation: Overcoming the energy poverty–fuel poverty binary. Energy Res. Soc. Sci. 10, 31–40. https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.06.007

[5] https://www.energypoverty.eu/

[6] La Encuesta de condiciones de vida (ECV) se realiza desde 2004. Basada en criterios armonizados para todos los países de la Unión Europea, su objetivo fundamental es disponer de una fuente de referencia sobre estadísticas comparativas de la distribución de ingresos y la exclusión social en el ámbito europeo.

de la Encuesta de Presupuestos Familiares (EPF) [7] elaboradas por el Instituto Nacional de Estadística (INE) (Tirado, Jiménez, López e Irigoyen, 2018)[8]:

1. **Gasto desproporcionado (2M)** [9]: Porcentaje de población para el que los gastos reales en energía doméstica (como porcentaje de ingresos totales del hogar) está dos veces por encima de la mediana.
2. **Pobreza energética escondida (HEP)** [10]: Porcentaje de población para el que el gasto total en energía doméstica está por debajo de la mitad de la mediana nacional
3. Porcentaje de población que se declara **incapaz de mantener la vivienda a una temperatura adecuada**.
4. **Retraso en el pago de las facturas**: porcentaje de población que tiene retrasos en el pago de facturas de los suministros de la vivienda

**Tabla II. Evolución indicadores pobreza energética**

| INDICADOR (% población) | 2008 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|---|---|---|---|---|---|
| GASTO DESPROPORCIONADO (2M) | 15,9 | 16,6 | 16,6 | 16,7 | 17,3 |
| POBREZA ENERGÉTICA ESCONDIDA (HEP) | 14,6 | 13,2 | 12,2 | 12,6 | 11,5 |
| TEMPERATURA INADECUADA DE LA VIVIENDA EN INVIERNO | 5,9 | 11,1 | 10,6 | 10,1 | 8,0 |
| RETRASO EN EL PAGO DE LAS FACTURAS | 4,6 | 9,2 | 8,8 | 7,8 | 7,4 |

*Tomado de Ministerio para la Transición Ecológica. Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2019-2024 (MITECO, 2019)* [11].

Dependiendo de las fuentes, los sistemas de medida, y/o los indicadores podemos hablar que entre **3,5 y 8,1 millones de personas** tienen gastos energéticos desproporcionados, sufren temperaturas inadecuadas en sus casas y/o retrasos en el pago de las facturas energéticas, es decir se encuentran en situación de pobreza energética en España.

De acuerdo con la Encuesta de Condiciones de Vida (ECV)[12], un total de 6,8 millones de personas, equivalente al 15% de la población residente en España, estarían sufriendo temperaturas inadecuadas en la vivienda o retraso en el pago de recibos, o ambos. De éstas, destacan los 2,8 millones de personas que declararon tener dos o más retrasos en el pago de recibos en los últimos 12 meses (el 6% de la población).

[7] La Encuesta de presupuestos familiares (EPF) suministra información anual sobre la naturaleza y destino de los gastos de consumo, así como sobre diversas características relativas a las condiciones de vida de los hogares.
[8] Tirado Herrero., S., Jiménez Meneses, L., López Fernández, J.L., Irigoyen Hidalgo, V.M.,2018. Pobreza energética en España. Hacia un sistema de indicadores y una estrategia de actuación estatales. Asociación de Ciencias Ambientales, Madrid.
[9] Doble de la mediana, su acrónimo en inglés es 2M
[10] Pobreza Energética Escondida. Su acrónimo en inglés es HEP (hidden energy poverty)
[11] MITECO Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2019 – 2023, aprobada por el Consejo de Ministros el 5 de abril de 2019, a propuesta del Ministerio para la Transición Ecológica, https://www.miteco.gob.es/es/prensa/estrategianacionalcontralapobrezaenergetica2019-2024_tcm30-496282.pdf
[12] INE, 2016. Encuesta de Condiciones Vida (ECV)13 2016. Cuestionario de hogar. Instituto Nacional de Estadística.

De los indicadores de la Encuesta de Presupuestos Familiares (EPF)[13], un 29% de la población (13,2 millones de personas) estarían en dificultades, bien por gastos desproporcionados en relación a sus ingresos, bien por escaso gastos

De acuerdo con datos de la ECV se estima que en 2016 había un millón y medio de personas (el 3% de la población) que declaraban tener retrasos en el pago de recibos y del alquiler e hipoteca de forma simultánea.

Así mismo, con datos de la ECV, se estima que en 2016 había **900.000 personas (el 2% de la población) que dejaron en algún momento de disponer de sus fuentes habituales de energía**, tanto por no poder pagar dicha energía como por haber tenido algún tipo de corte en el suministro energético.

¿Por qué se produce esta situación? Por un lado el encarecimiento de la energía en un contexto de precarización de los ingresos y disminución de la protección social, por otro, la falta de eficiencia energética de las viviendas. En España, gran parte del parque residencial es muy deficiente, debido a su antigüedad. Las personas en peor situación económica tienen viviendas en peor estado. También es importante el desconocimiento generalizado acerca del uso eficiente de la energía y las técnicas de ahorro energético o de los posibles apoyos públicos o privados en esta materia que se reflejan en el hecho de que una parte importante de la población afectada por el fenómeno, no es usuaria del bono social de la energía – y no sólo debido a la exclusión de determinados perfiles socialmente vulnerables, sino también a la falta de información.

La forma en que la pobreza energética interrelaciona con otras manifestaciones de la pobreza es un exponente de la multidimensionalidad de los fenómenos de vulnerabilidad social. «*La pobreza energética se convierte generalmente en un círculo vicioso. La pobreza fuerza a las personas a vivir en viviendas baratas y de mala calidad que son difíciles de calentar, lo que incrementa las facturas. Las circunstancias personales y del hogar de las personas que sufren pobreza pueden ocasionar que precisen caldear su vivienda por períodos de tiempo más largos y con mayor intensidad (desempleo, o empleo precario, enfermedades crónicas o discapacidad, presencia de menores de edad). El incremento de los precios y la disminución de los ingresos coloca a los hogares ante cada vez más inaceptables elecciones entre la energía y otras necesidades clave como la alimentación o el equipamiento escolar y les fuerzan a endeudarse. La salud física y mental se ven severamente afectadas con impactos en el bienestar, pero también en la capacidad para trabajar, relacionarse y participar. Esto tiene, a la vez, importantes impactos negativos en el crecimiento y la economía*» (JONES , 2016, p.28)[14].

## 3. EL ACCESO A LA ENERGÍA COMO DERECHO

En el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS)[15] número 7, la comunidad internacional se compromete a garantizar "*el acceso a la energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos*". Este objetivo abarca tres metas a alcanzar en 2030: asegurar el acceso universal, duplicar la cuota de energía renovable y duplicar la tasa de mejora de la eficiencia energética a nivel mundial (Pueyo, 2017)[16].

---

[13] INE, 2018. Encuesta de Presupuestos Familiares. Base 2016. Principales características. Instituto Nacional de Estadística, Madrid, Spain.

[14] JONES, S. (2016). Social causes and consequences of energy poverty. En Csiba, K. (ed.), Energy poverty handbook (21-37). Brussels: Katalin Csiba. Obtenido de http://meszerics.eu/pdf/energypovertyhandbook-online.pdf(última consulta 07/06/17).

[15] https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/

[16] Pueyo, A., 2017. El acceso universal a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna. CIDOB

La European Anti Poverty Network – EAPN (Red Europea de Lucha contra la Pobreza y la Exclusión Social)[17] tiene como algunas de sus demandas fundamentales, introducir el derecho a la energía para toda la ciudadanía, una legislación europea que prohíba la desconexión de consumidores vulnerables en momentos críticos y asignar un porcentaje de inversión pública a medidas de eficiencia energética dirigidas a hogares de bajos ingresos.

La directiva del parlamento europeo y del Consejo por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE[18], relativa a la eficiencia energética, fija obligaciones sobre eficiencia energética. La propuesta refuerza los aspectos sociales de la eficiencia energética, establece el requisito de que se tenga en cuenta la pobreza energética al configurar los sistemas de obligaciones de eficiencia energética y las medidas alternativas. La reducción de la factura energética será también especialmente beneficiosa para los consumidores más vulnerables.

Las mejoras de eficiencia energética de los edificios deben beneficiar, en particular, a los consumidores afectados por la pobreza energética. Las políticas de eficiencia energética de la Unión deben ser integradoras y, por tanto, garantizar el acceso de los consumidores afectados por la pobreza energética a las medidas de eficiencia energética. Se incluirán requisitos con una finalidad social en las obligaciones de ahorro que impongan, tales como la aplicación con carácter prioritario de un porcentaje de las medidas de eficiencia energética a hogares afectados por la pobreza energética y a viviendas sociales.

Para luchar contra la pobreza energética y el cambio climático en nuestro país, cada año se deberían rehabilitar energéticamente, incidiendo con énfasis en los entornos más vulnerables económicamente, unas 250.000 viviendas y apenas se llega a las 25.000. De esta manera no solo se evitarían mayores emisiones de CO2, sino que, además, se crearía empleo en el sector verde, luchando a su vez contra la pobreza energética y las situaciones de vulnerabilidad.

Se ha demostrado que las medidas de rehabilitación de los hogares tienen un alto grado de impacto en las familias. Por ejemplo, la renovación de una la caldera, cuando se tiene calefacción por gas natural, supone una inversión de unos 1.500 euros y se logra un ahorro del 18% en la factura. En hogares en situación de vulnerabilidad severa, recurriendo a una rehabilitación exprés de bajo coste de unos 4.500 euros, podríamos llegar a un ahorro del 45% en el consumo eléctrico.

**Es fundamental que las familias vulnerables dispongan de una vivienda eficiente y sostenible que reduzca el gasto, pero la realidad actual es que estas familias viven en las casas más ineficientes.**

## 4. EFECTOS DE LA POBREZA ENERGÉTICA

La pobreza energética, tiene efectos sobre la salud y el bienestar de las personas. Podemos diferenciar aquellos efectos directos producidos por la falta de confort térmico o por una temperatura inadecuada en la vivienda, de aquellos otros efectos indirectos que son consecuencia de la necesidad que tienen las personas en situación de pobreza energética de elegir entre recursos energéticos y otros recursos de la vida diaria, así como, de la situación de vulnerabilidad social asociada.

[17] https://www.eapn.es/
[18] COM(2016) 761 final - Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council 761 final) amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52016PC0761

Las encuestas Europeas sobre calidad de vida[19] indican una mayor probabilidad de sufrir una depresión entre hogares que no pueden permitirse mantener su vivienda con a una temperatura. La prevalencia de mala salud mental detectada a través de encuestas es especialmente elevada en población muy vulnerable con riesgo de pérdida de la vivienda habitual y/o de sus suministros básicos.

Esta situación provoca problemas de salud (asmas, artritis, depresión, ansiedad, bronquitis infantil), fundamentalmente entre niños y personas mayores, fracaso escolar (falta de condiciones mínimas para hacer los deberes), exclusión social y reducción de las relaciones sociales, una mayor predisposición al absentismo escolar y laboral, problemas de higiene, estigma y aislamiento social, dificultad de acceso al empleo, hasta dilemas para las familias que tienen que elegir entre comer o calentarse.

Se ha descrito el efecto "*Heat or eat*" en el que las familias afrontan la elección entre calentarse (utilizar energía para un confort térmico mínimo) o alimentarse de manera adecuada y suficiente. Tener que hacer frente al pago de suministros energéticos puede significar disminuir el gasto en alimentación, algo que se ha identificado en las investigaciones de Cruz Roja al hablar de la situación financiera de los hogares y los principales capítulos de gasto de las familias. Esto conlleva riesgos de malnutrición, que afectan especialmente a los niños y a las personas enfermas. Entre las consecuencias indirectas de la pobreza energética, muchos investigadores mencionan un impacto negativo en las oportunidades y elecciones dietarías (ADAM, S, 2016)[20].

**Tabla III.** ***Consecuencias de la pobreza energética***

*Cruz Roja Española, 2018.*

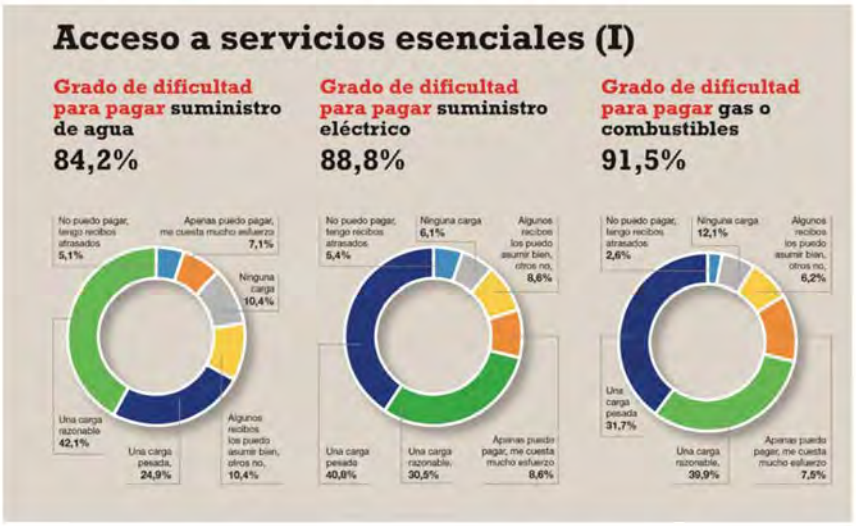
La pobreza energética conlleva otros elementos de aislamiento y exclusión social que dificultan la integración de las personas y familias en esta situación, en diversos ámbitos de la vida personal, laboral y social. No contar con una vivienda bien acondicionada limita las oportunidades de relación y aumenta el aislamiento, por ejemplo, personas mayores que no invitan a nadie a casa, etc.

[19] https://www.eurofound.europa.eu/es/surveys/european-quality-of-life-surveys

[20] ADAM, S. (2016, abril). Fuel Poverty what it means for young parents and their families. Obtenido en www.nea.org.uk/.../fuel-poverty-means-young-parents-families/ (última consulta 25/05/17).

Así lo pone de manifiesto, el Boletín sobre Vulnerabilidad social nº17 de Cruz Roja Española, en un estudio realizado sobre su población atendida.

**Figura 1.** ***Acceso a servicios esenciales***




*Cruz Roja Española, 2018.*[21]

La pobreza energética afecta a la salud física y mental, a la nutrición, a las oportunidades laborales y educativas, a las oportunidades de relación, al desempeño académico y laboral. Por ello, **su impacto no se refiere sólo al presente de quienes la sufren, sino también a su futuro.**

## 5. LA INTERVENCIÓN DE CRUZ ROJA ESPAÑOLA

Cruz Roja es una organización humanitaria que trabaja con personas que, por diversas causas, atraviesan situaciones de elevada vulnerabilidad social. **Los tres factores que tienen incidencia en el fenómeno de la pobreza energética, ingresos insuficientes, ineficiencia energética de los hogares y coste de la energía**, afectan a una parte importante de la población general – y más en un contexto post-crisis– pero su impacto en la población atendida por Cruz Roja, cuyas tasas de riesgo de pobreza y exclusión son muy elevadas, puede llegar a ser determinante, como lo son también las consecuencias que ello tiene a medio y largo plazo.

[21] Cruz Roja Española, La vulnerabilidad asociada al ambiro de la vivienda y pobreza energética en la población atendida por Cruz Roja. Boletín sobre vulnerabilidad social Número 17. Madrid 2018. https://www2.cruzroja.es/web/cruzroja/-/boletin-n-17-sobre-vulnerabilidad-social

**Figura 2.** ***Respuesta de Cruz Roja a la pobreza energética***

*Cruz Roja Española, 2018.*[22]

En los tres proyectos inciden directamente en las situaciones de extrema vulnerabilidad económica y, en los tres casos, el número de usuarios se incrementa año a año.

- El primer proyecto ofrece **cobertura a necesidades básicas** (entrega de alimentos, vestuario, material de higiene y enseres, así como el pago de suministros).
- En segundo lugar, la **prevención de la exclusión residencial**, a través del apoyo y mediación en la negociación de hipotecas o alquileres, pagos puntuales de cuotas, apoyo psicológico y capacitación en temas de ahorro doméstico;
- Por último, el **apoyo a la escolarización**, con becas comedor, material y equipamiento escolar.

A la hora de definir nuestra intervención, la proximidad de Cruz Roja a las personas vulnerables facilita un conocimiento muy directo de sus condiciones de vida y necesidades. En muchos hogares existen pocos aparatos eléctricos, que generalmente se reducen a televisión, lavadora y frigorífico, y que se encuentran en mal estado o son antiguos, sin certificado de garantía de eficiencia eléctrica, con unos consumos eléctricos elevados. Las personas desconocen cómo hacer un uso eficiente de los electrodomésticos y su mantenimiento, lo que redunda en prácticas que incrementan los consumos. La iluminación de las viviendas suele ser deficiente y las bombillas son incandescentes clásicas, lo que ocasiona mayores consumos.

Otro aspecto detectado **es la utilización de los aparatos eléctricos de manera continuada a lo largo del día,** debido a que las familias pasan más tiempo dentro de casa. En el caso de la climatización de los hogares, el voluntariado de Cruz Roja detecta muchas casas mal aisladas, con fugas de energía a través de ventanas y puertas, y con falta de revestimiento aislante en las paredes.

[22] Cruz Roja Española, La vulnerabilidad asociada al ambiro de la vivienda y pobreza energética en la población atendida por Cruz Roja. Boletín sobre vulnerabilidad social Número 17. Madrid 2018. https://www2.cruzroja.es/web/cruzroja/-/boletin-n-17-sobre-vulnerabilidad-social

Los aparatos de calor suelen ser eléctricos, de bajo rendimiento y alto consumo y no calientan todas las habitaciones del hogar, sino de forma muy localizada. A todo esto, se une que muchas de estas **familias no saben interpretar los conceptos incluidos en la factura** de eléctrica, desconocen el bono social, no tienen la potencia ajustada para adherirse al mismo o no tienen el contrato con una comercializadora que ofrezca la Tarifa regulada PVPC (Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor).

En el Boletín nº 17 sobre la Vulnerabilidad Social [23], se analiza el grado de uso y de conocimiento de los recursos y tarifas que existen para personas vulnerables**: el 19% utiliza el bono social** y el **54% dice no conocerlo**, y con respecto a la **tarifa regulada PVPC, sólo la utiliza un 3,5% y el 90% dice desconocerla.**

**Tabla IV. Recursos de ahorro y apoyos**

*Cruz Roja Española, 2018*

Además, el 32,5% de las personas encuestadas, indicaron que en sus hogares existen alguna o varias circunstancias por las que tienen una demanda más alta de energía eléctrica, ya sea debido a las horas que pasan en sus viviendas, personas con enfermedades crónicas etc.

La lucha contra la pobreza energética contempla, entre otras cosas, el **pago de suministros.** Entre 2014 y 2017, el número de familias atendidas ha experimentado un incremento del 22%, alcanzando a cerca de 22.000 hogares. El apoyo aborda los pagos de recibos de agua, gas/gasoil y electricidad. El mayor esfuerzo económico se dedica a estos últimos.

- Gastos de servicios (luz, agua, teléfono): (35,9%)
- Gastos de vivienda (alquiler, hipoteca, …): (35,1%)
- Gastos de alimentación (20,8%)

[23] Cruz Roja Española, La vulnerabilidad asociada al ambiro de la vivienda y pobreza energética en la población atendida por Cruz Roja. Boletín sobre vulnerabilidad social Número 17. Madrid 2018. https://www2.cruzroja.es/web/cruzroja/-/boletin-n-17-sobre-vulnerabilidad-social

**Figura 2. Esfuerzo económico de las familias atendidas por Cruz Roja**.

*Cruz Roja Española, 2018.*

Se realizan, **talleres de economía doméstica y distribución de dispositivos de ahorro** (bombillas de bajo consumo, burletes para las ventanas, regletas, bolsas reductoras de cisterna, reductores para fregadero y lavabo y guías informativas con consejos para el ahorro de energía).

Para que las personas voluntarias puedan realizar adecuadamente su trabajo, se realizan **capacitaciones** en aspectos tanto referidos a la intervención social, como a la eficiencia energética. factura de la electricidad, consumos, mediciones en el hogar, acceso al bono social, etc. Para que actúen de puente con las familias vulnerables, se detecten las necesidades de los hogares, se tomen decisiones conjuntas y se les proporcione información, orientación, consejos y recursos específicos.

## 6. LLAMAMIENTO DE CRUZ ROJA "*COMPROMETIDOS CON LAS PERSONAS Y EL MEDIO AMBIENTE*" (2018-2020)

Este llamamiento pretende fomentar la corresponsabilidad de la entidad sobre el cambio climático y la pobreza energética. Por ello, cada ámbito territorial de Cruz Roja ha firmado un compromiso de adhesión que implica dar cumplimiento a diferentes acciones:

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), contribuyendo al compromiso de acción por el clima y el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS).
- Compensar las emisiones de CO2 para asegurar una entidad sostenible y responsable ambientalmente.
- Dedicar el ahorro producido por la reducción de consumos a proyectos de lucha contra la pobreza energética en el ámbito nacional e internacional.
- Fomentar la colaboración entre empresas y Cruz Roja para paliar la pobreza energética.

**Figura 3. Marco del llamamiento**.

La puesta en marcha de este llamamiento conlleva la ejecución de las siguientes fases:

- Cálculo de las emisiones de Cruz Roja Española para mitigar el impacto.
- Registro de la huella de carbono de Cruz Roja ante la Oficina Española de Cambio Climático.
- Plan para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero generadas por nuestra actividad.
- Invertir el ahorro económico producido por la reducción de emisiones a proyectos de pobreza energética, tanto de ámbito nacional como internacional.
- Compensación de emisiones a través de proyectos de pobreza energética en el ámbito nacional e internacional.

**Figura 4. Lógica del llamamiento**.

De acuerdo al mercado voluntario de carbono, la compensación de emisiones tiene un coste aproximado de 120 €/tCO2 emitida. Por cada tonelada de CO2emitida por Cruz Roja, trabajaremos con una familia en situación de pobreza energética, invirtiendo 120 euros en esa acción.

**Figura 5. Compromiso**.

Esta cuantía económica será destinada para cubrir las necesidades de las familias, a través de las siguientes acciones:

- Dotación a las familias de un kit de micro eficiencia energética para el hogar.
- Estudio de sus facturas eléctricas y la emisión de un informe de recomendaciones acerca de la posibilidad de solicitar el bono social, cambio de potencia contratada, etc.
- Recomendaciones sobre buenas prácticas ambientales a realizar en el hogar, incluyendo cambio de hábitos y comportamientos.
- Pequeñas rehabilitaciones en el hogar.

**Figura 6. Proceso del llamamiento**

El alcance del proyecto (número de familias a atender anualmente en el proyecto de pobreza energética) será calculado en función de dos variables, la reducción de consumos propios de energía (dedicando esos fondos al proyecto) y por la cantidad de CO2 emitido por la Institución. Una tonelada emitida igual a 120€ de inversión anual en el proyecto, siendo el coste de atención por familia anualmente 120€. Esta inversión podrá realizarse con fondos propios, subvenciones o donaciones de empresas o particulares.

La huella de Carbono de Cruz Roja Española en 2017 ha sido de 15.975,16 toneladas, la ratio de compensación es: **1 familia = 1 Tonelada CO2 = inversión 120€/año,** eso supone una inversión en lucha contra la pobreza energética de 1.917.019 € y 15.975 familias atendidas.

Adicionalmente la Institución ha puesto en marcha un llamamiento especial con una dotación económica de 1.430.000 € para atender a un mayor número de familias y para cubrir las acciones de rehabilitación de los hogares. Con el compromiso territorial de atención a 15.975 familias más la ampliación del fondo del llamamiento, se espera llegar al total de **familias atendidas en 2019 de 24.315 familias.**

Siendo el **coste del kit de aproximadamente de unos 80€,** se consigue una reducción anual en términos económicos de **90€/ anuales** en la factura del hogar y una reducción de unos **11`70KgCO2/kit**[24]. Reducir una tonelada supone trabajar con 85,5 familias.

[24] Datos obtenidos Fuente Luz Control https://luzcontrol.org/

**La inversión realizada con el kit por hogar es recuperada por la familia al cabo del año en su factura.**

## 8. CONCLUSIONES

Este proyecto vincula temas medio ambientales y el trabajo con los colectivos más vulnerables. Nos permite relacionar aspectos de gestión ambiental interna con la actividad más propia de Cruz Roja. Facilita la participación del voluntariado y del personal laboral, permite implicar a empresas y donantes y a la sociedad en general y en definitiva nos permite disponer de fondos para poder lucha contra la pobreza energética,

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

| | |
|---|---|
| 9:45 - 11:30 | **SESIÓN 4 PLENARIA. ALMACENAMIENTO Y FOTOVOLTAICA**<br>Modera: D. Piet Holtrop. **Holtrop S.L.P. Transaction & Business Law** |
| | "Gestión inteligente de almacenamiento en redes eléctricas de distribución". **Xavier Benavides Rel.** Chief Technology Officer. **AMPERE ENERGY** |
| | "Drones, un futuro de Energías Renovables". **Angélica Bellver Climent.** Chief Technology Officer. **EMIN DRONE SYSTEMS** |
| | "El futuro de la fotovoltaica: seguimiento bifacial". **Miguel Pozuelo Monfort.** Sales Manager Europe. **SOLTEC** |
| | **Café / Networking** |
| 11:30 - 12:00 | **Continuación SESIÓN 4 PLENARIA** |
| 12:00 - 12:15 | "Contratos Tipo PPA" **Jaime Jaquotot Núñez. JOTA QUATTRO ADVISORS S.L.** |

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# Gestión inteligente de almacenamiento en redes eléctricas de distribución.

**Xavier Benavides Rel**

AMPERE ENERGY

*ReEnergize your life*

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice


1 AMPERE ENERGY

2 LA FLEXIBILIDAD DEL ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO TRAS EL CONTADOR

3 EL PROYECTO WISEGRID

4 EL PROYECTO AMPERIA

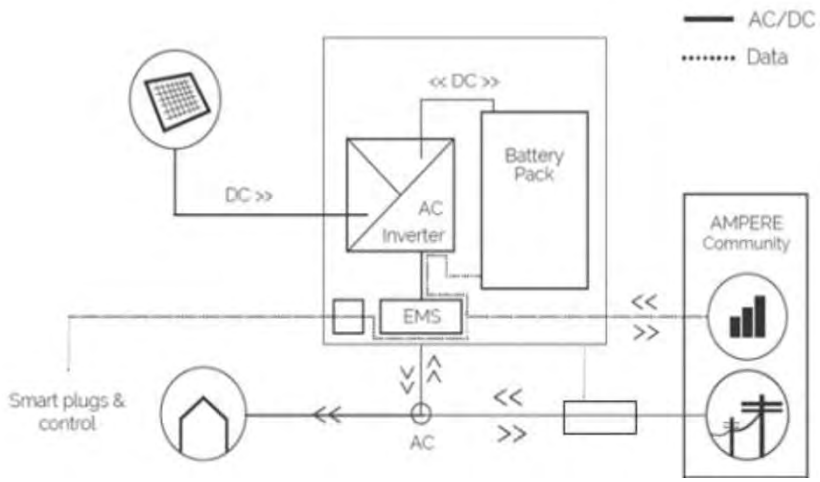
5 CONCLUSIONES


AMPERE ENERGY
*ReEnergize your life*

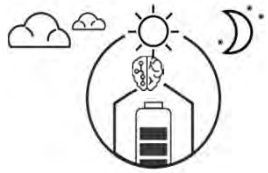
# II Congreso Internacional Ingeniería Energética

AMPERE ENERGY
ReEnergize your life

# AMPERE ENERGY



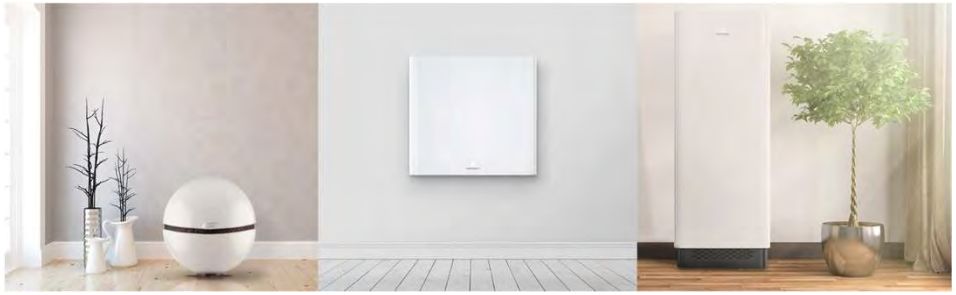
**"ALL IN ONE"**
Sistema integrado de baterías, inversor híbrido bidireccional, EMS, protecciones y todas las comunicaciones y cableado aseguran una **garantía única**

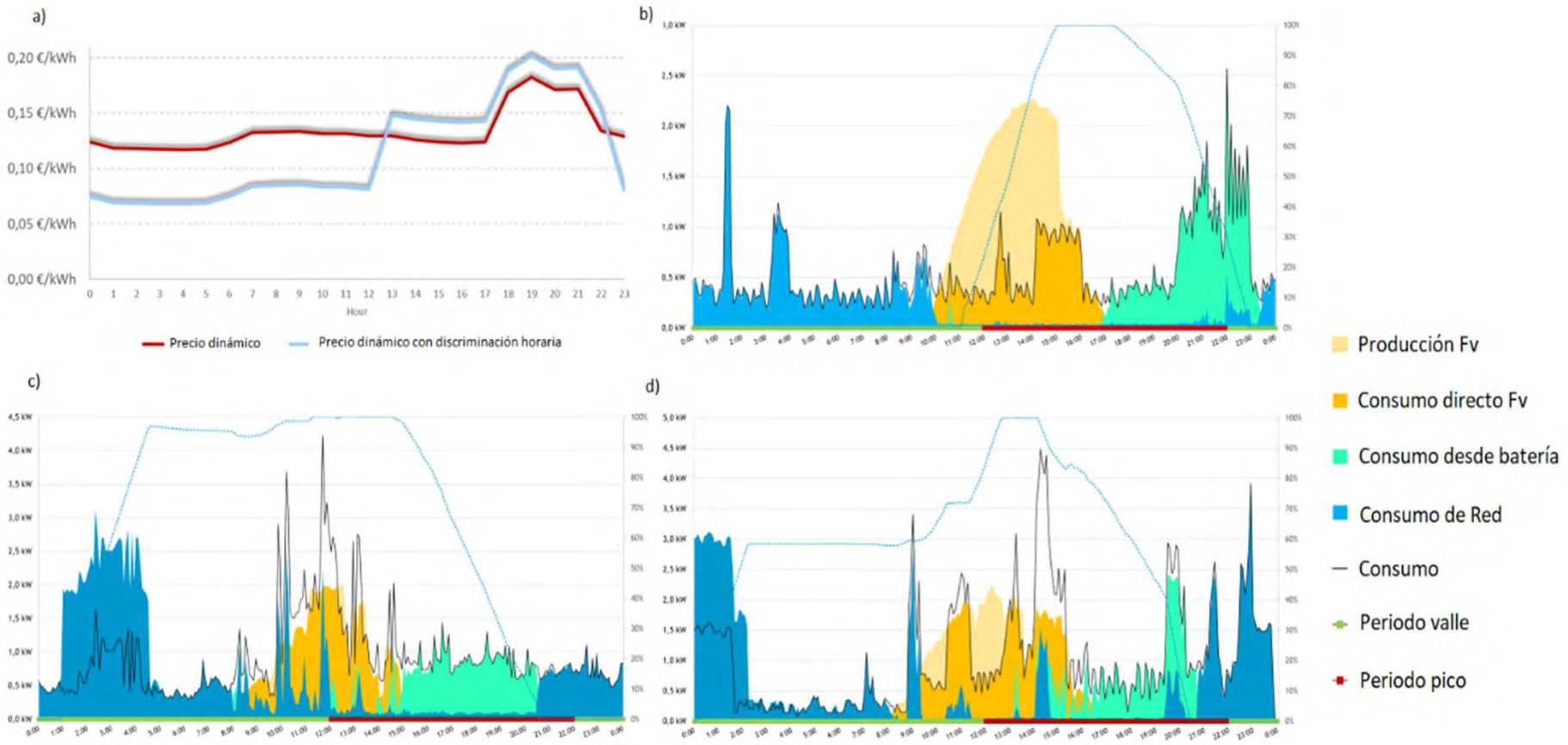


**AI AT THE EDGE**
El EMS es capaz **de aprender y predecir los hábitos de consumo**, prever la generación de energía, seguir tarifas eléctricas variables (Compra Inteligente) y estimar la **flexibilidad disponible**

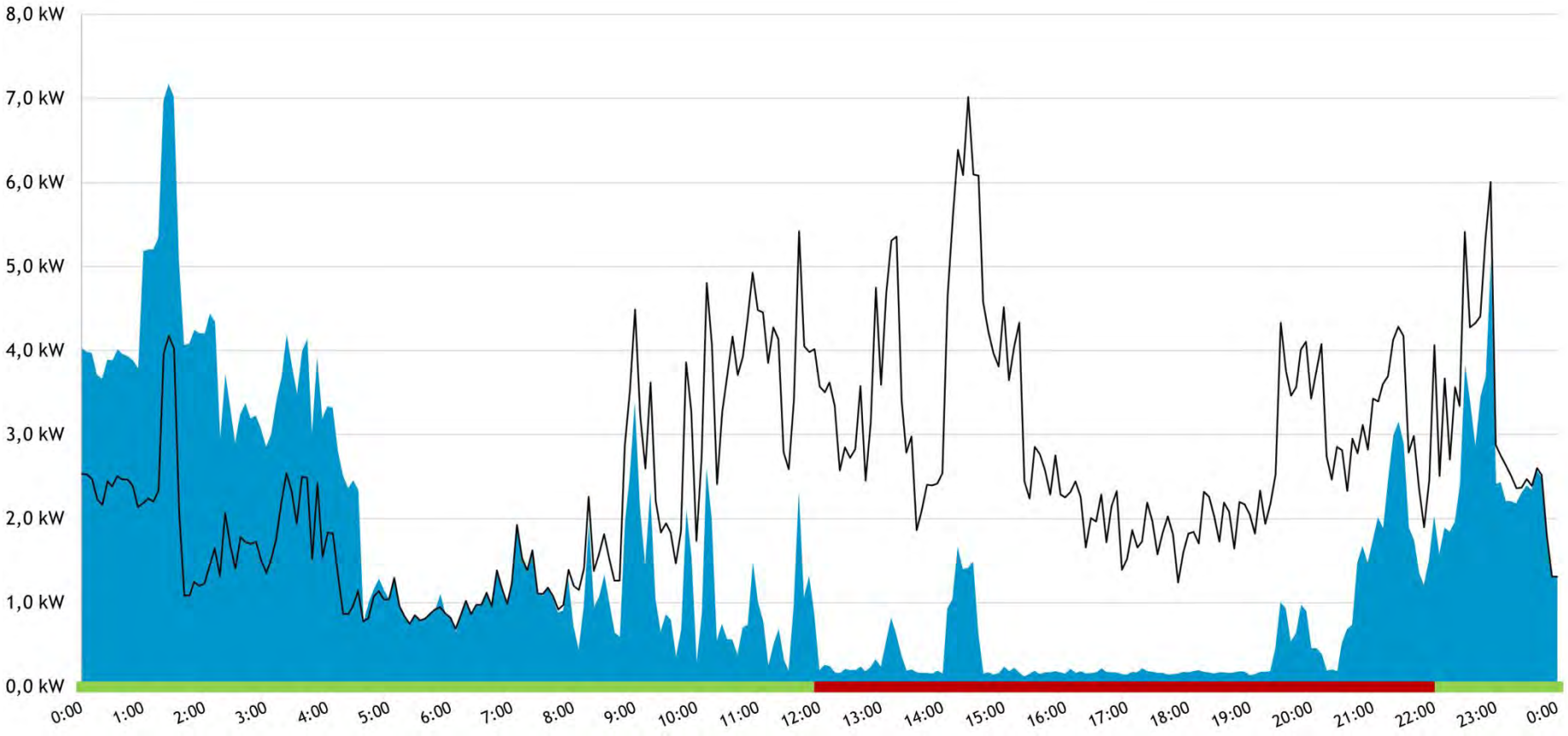
**VIRTUAL POWER PLANT**
Equipos interconectados en una **Virtual Power Plant** con inteligencia distribuida, APPs para Web y Smartphone con datos históricos y monitorización en **tiempo real**, control remoto, gestión de sistemas, actualizaciones remotas...

**BLOCKCHAIN NODES**
Funcionando en cada dispostivo, ejecutando transacciones **M2M**, registrando en la blockchain en el mismo lugar donde la energía es **gestionada y controlada**

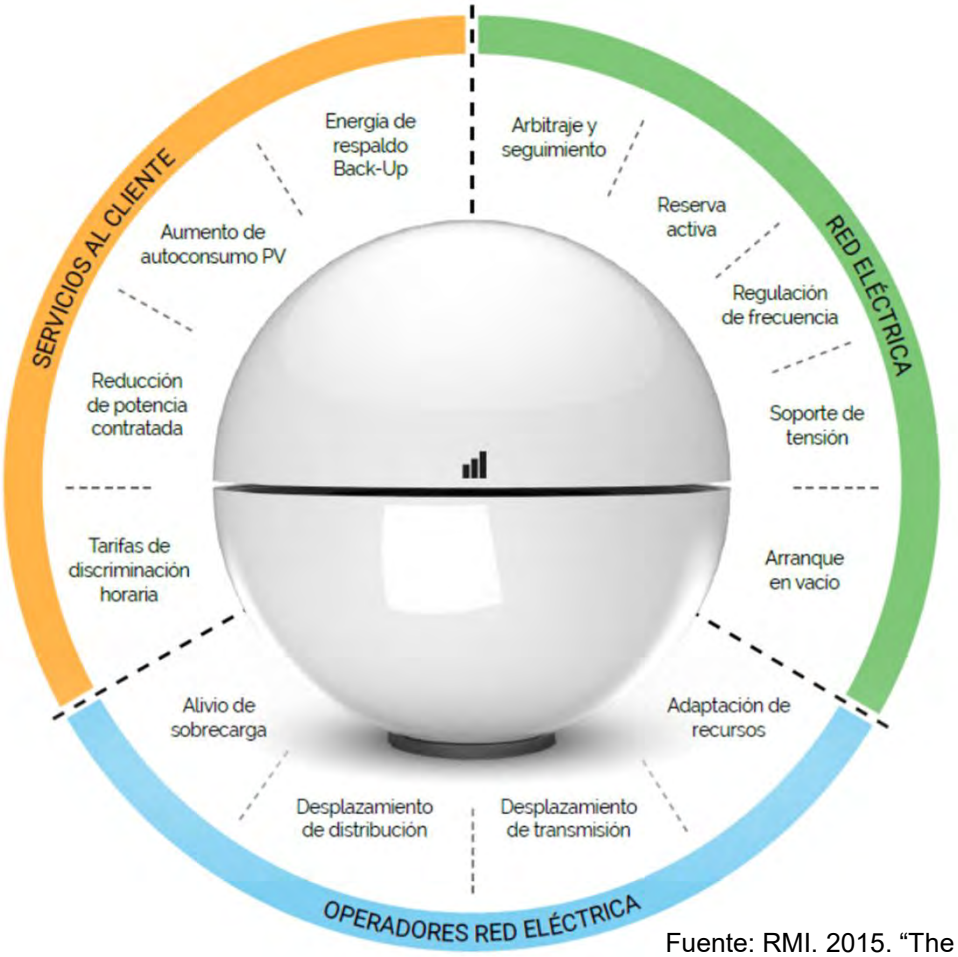



a)
0,20 €/kWh
0,15 €/kWh
0,10 €/kWh
0,05 €/kWh
0,00 €/kWh
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23
Hour
Precio dinámico
Precio dinámico con discriminación horaria
b)
c)
d)
Producción Fv
Consumo directo Fv
Consumo desde batería
Consumo de Red
Consumo
Periodo valle
Periodo pico

# LA FLEXIBILIDAD DEL ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO TRAS EL CONTADOR

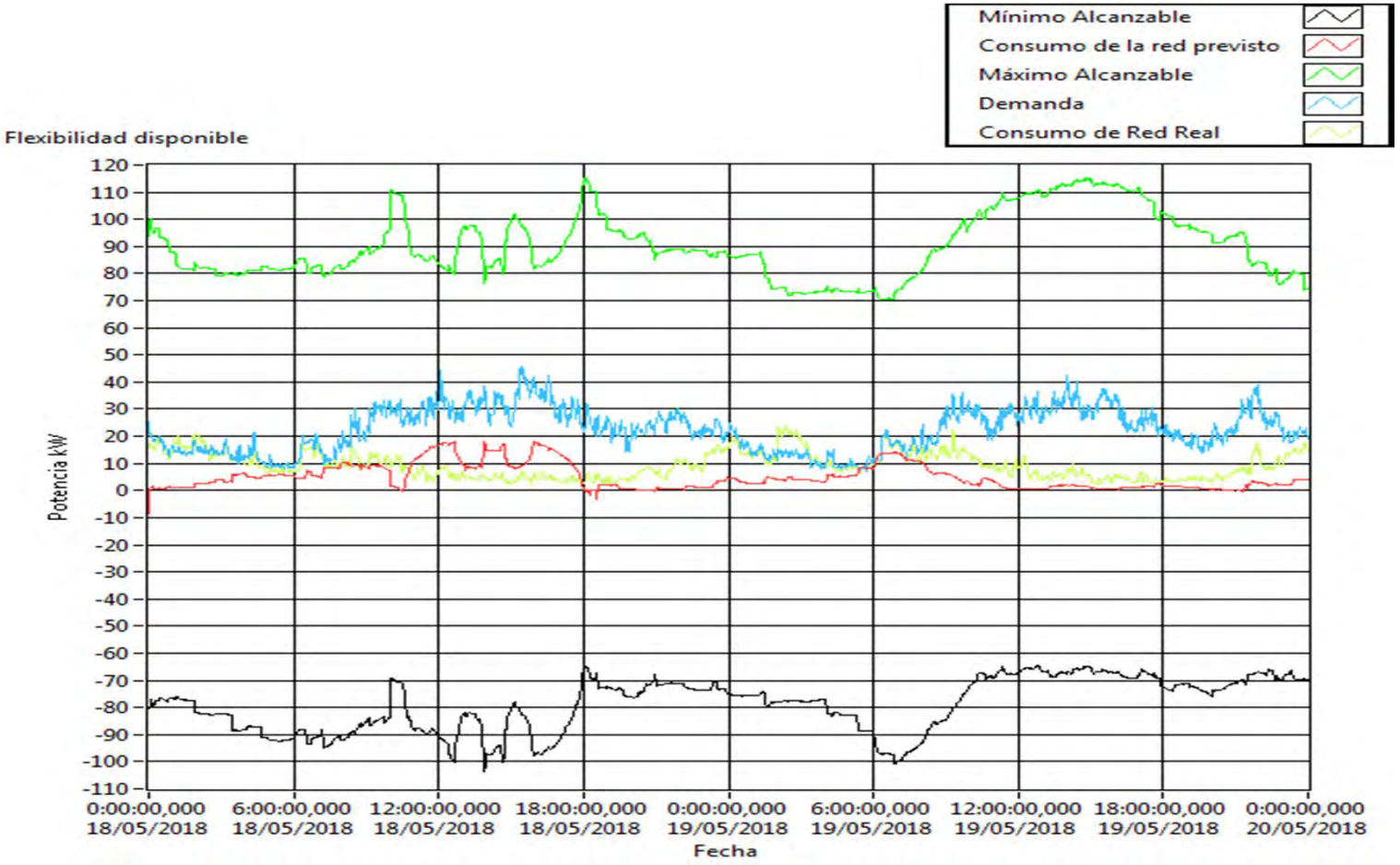


## LA FLEXIBILIDAD DEL ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO TRAS EL CONTADOR




Fuente: RMI. 2015. “The economics of battery energy storage”

## LA FLEXIBILIDAD DEL ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO TRAS EL CONTADOR



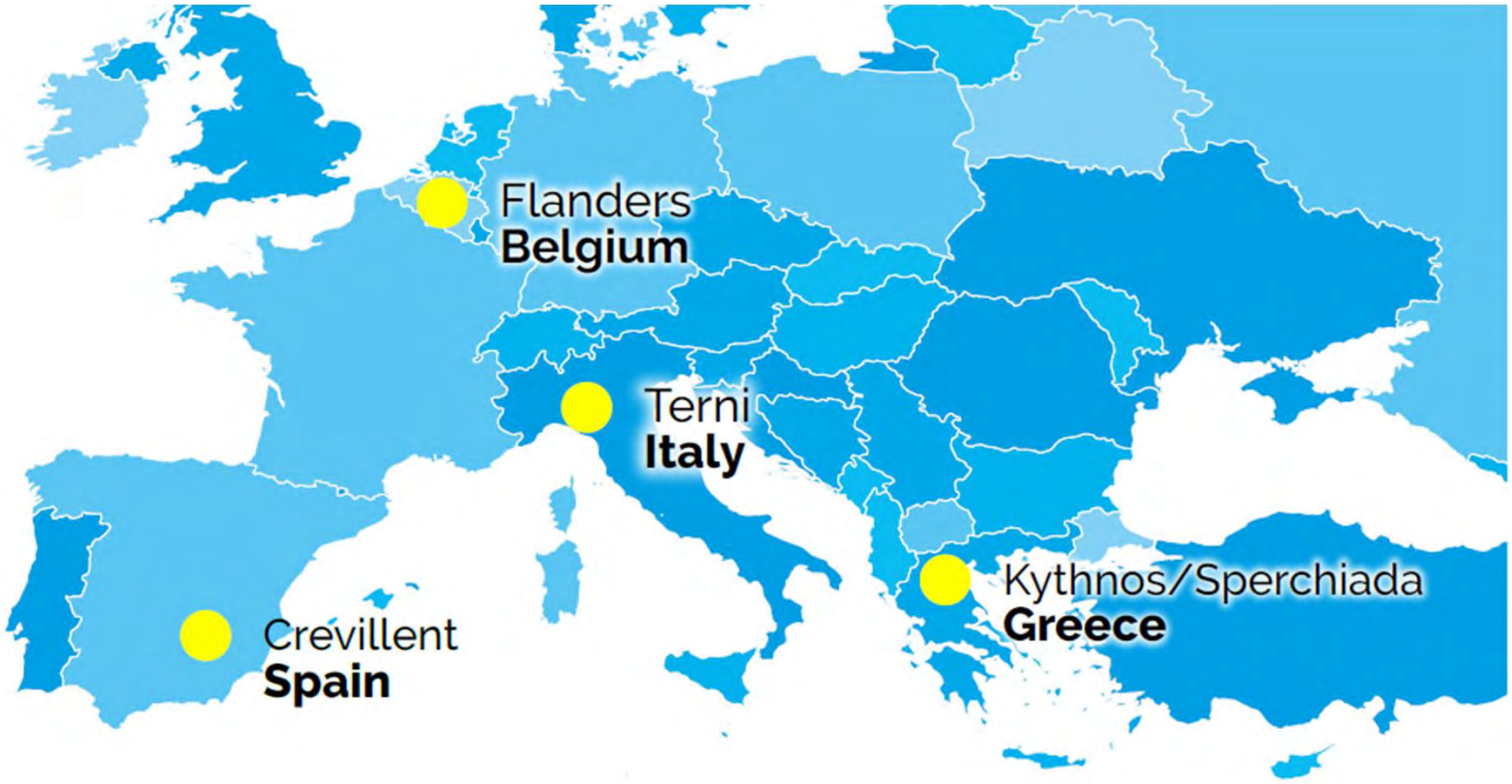
# EL PROYECTO WISEGRID

**El proyecto WiseGRID ha sido financiado por el Programa H2020 de la Unión Europea (Grant Agreement No. 731205) dentro de la convocatoria LCE (Low Carbon Energy) – 02 – 2016.**



AMPERE ENERGY
ReEnergize your life

## EL PROYECTO WISEGRID



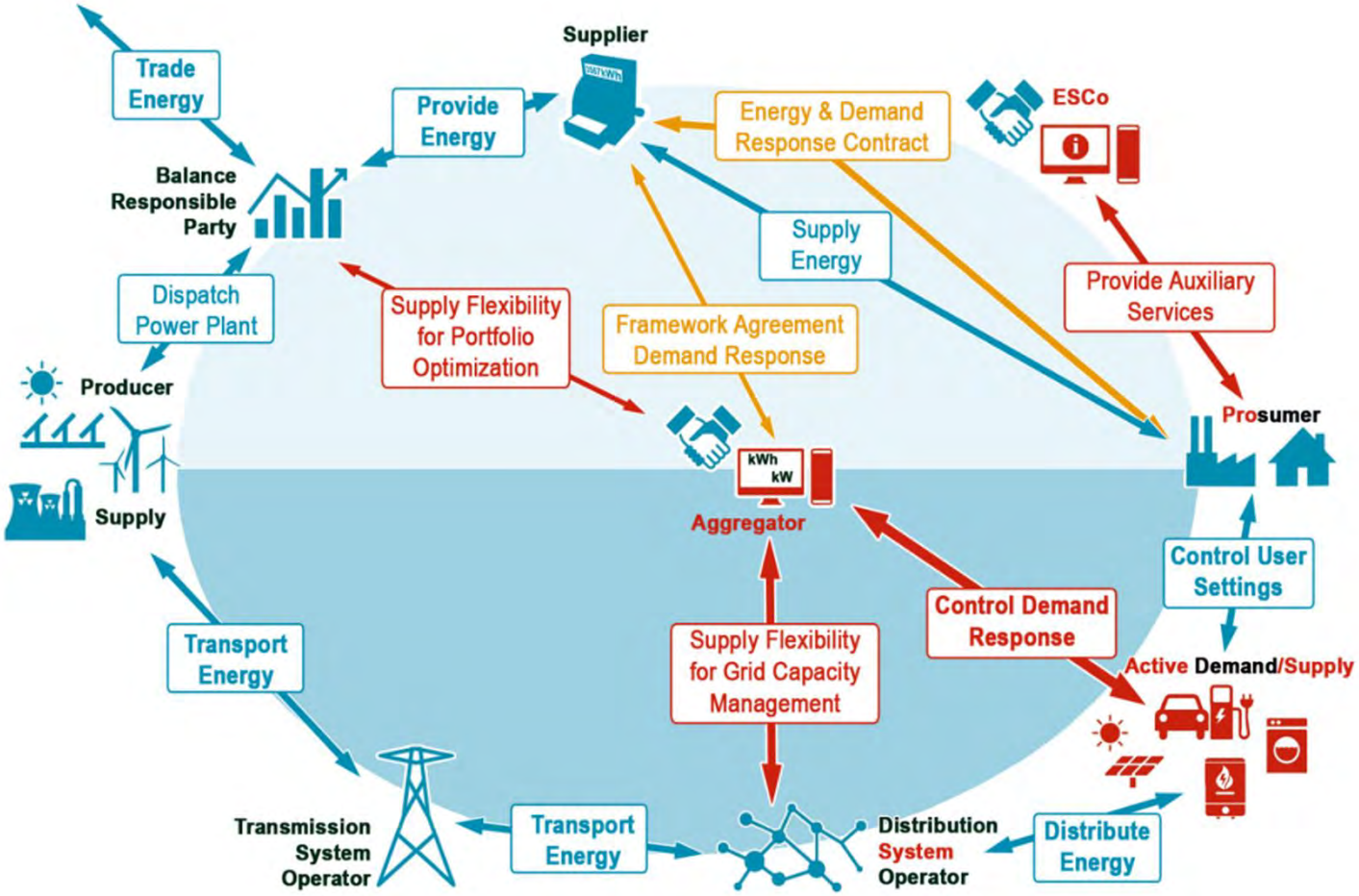



AMPERE ENERGY
ReEnergize your life

## EL PROYECTO WISEGRID

AMPERE ENERGY
ReEnergize your life

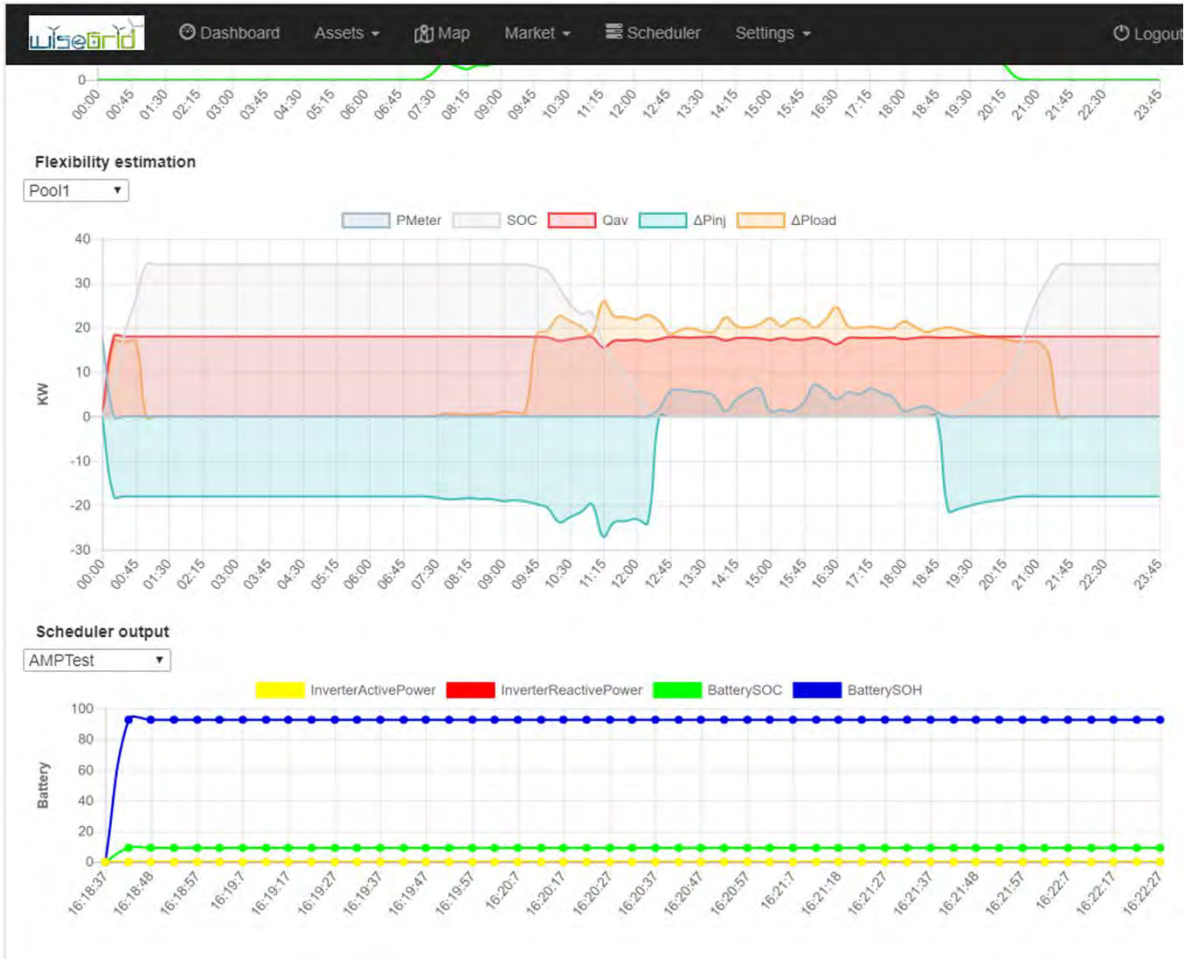
## EL PROYECTO WISEGRID






AMPERE ENERGY
ReEnergize your life

## EL PROYECTO WISEGRID






AMPERE ENERGY
ReEnergize your life

# Integrated Virtual Power Plant System with Smart Energy Storage

El proyecto Amperia está cofinanciado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) y los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER).

# EL PROYECTO AMPERIA

**Optimización del autoconsumo**
Maximizar el beneficio de la generación de la energía renovable.

**Time of use**
Aprovechamiento de las tarifas con discriminación horaria.

**Peak shaving**
Gestión de potencia para reducir consumos elevados.

**Control en tiempo real**
Envío de consignas en tiempo real a la VPP.

**Peer-to-Peer**
Transferencia de energía entre sistemas integrados en Amperia.

**Control automático**
Control de frecuencia y tensión de forma autónoma.

**Control semi automático**
Control de frecuencia y tensión con activación externa.

**Control programado**
Creación de consignas de ejecución programada.

**Seguimiento de objetivos**
Detección de desvíos en el cumplimiento de las consignas y reajuste.

**Optimizador de ofertas**
Selección de las ofertas con mayor beneficio.

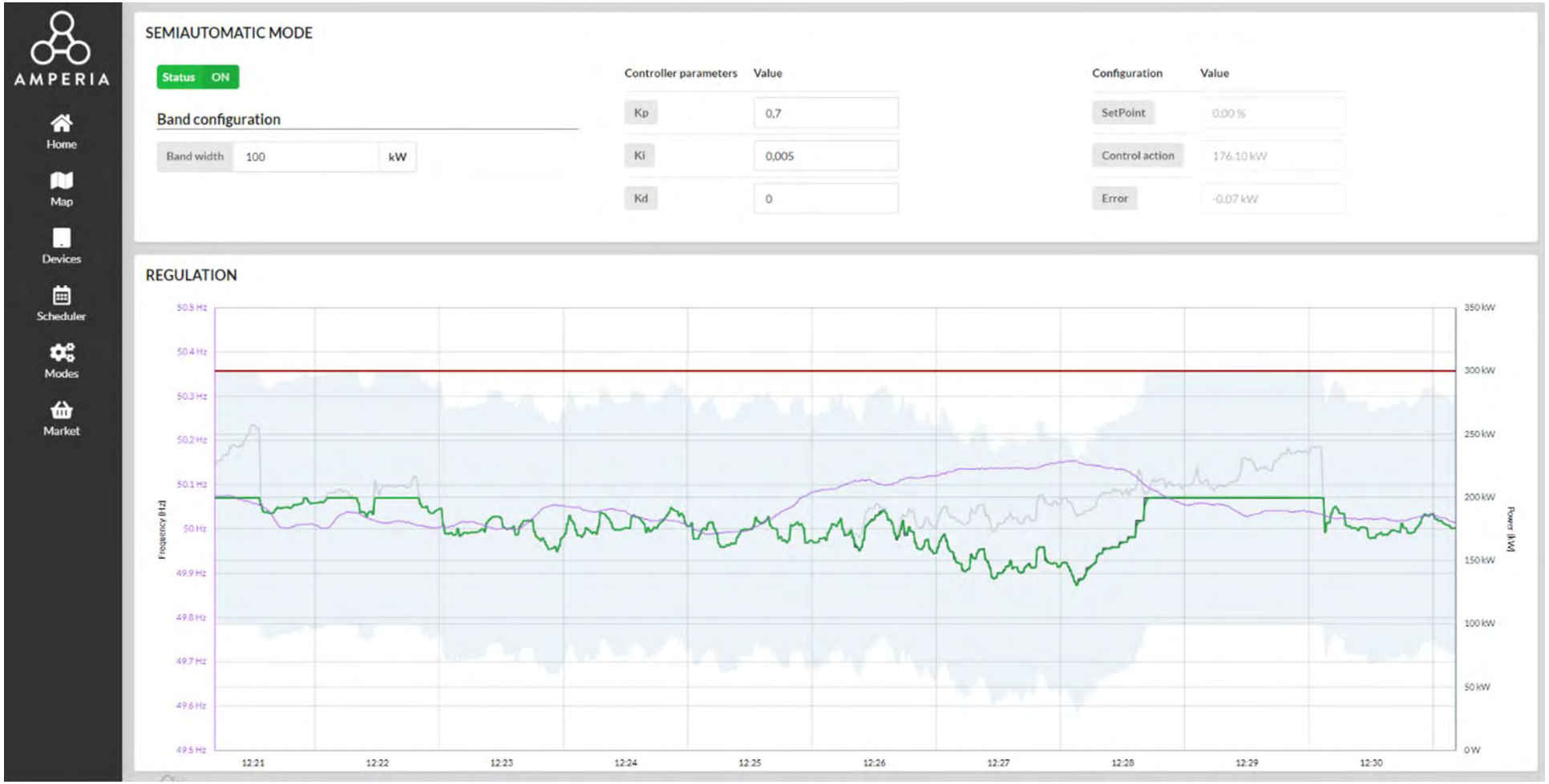
**Amperia User**
Con información simple y concisa para el usuario.

## EL PROYECTO AMPERIA

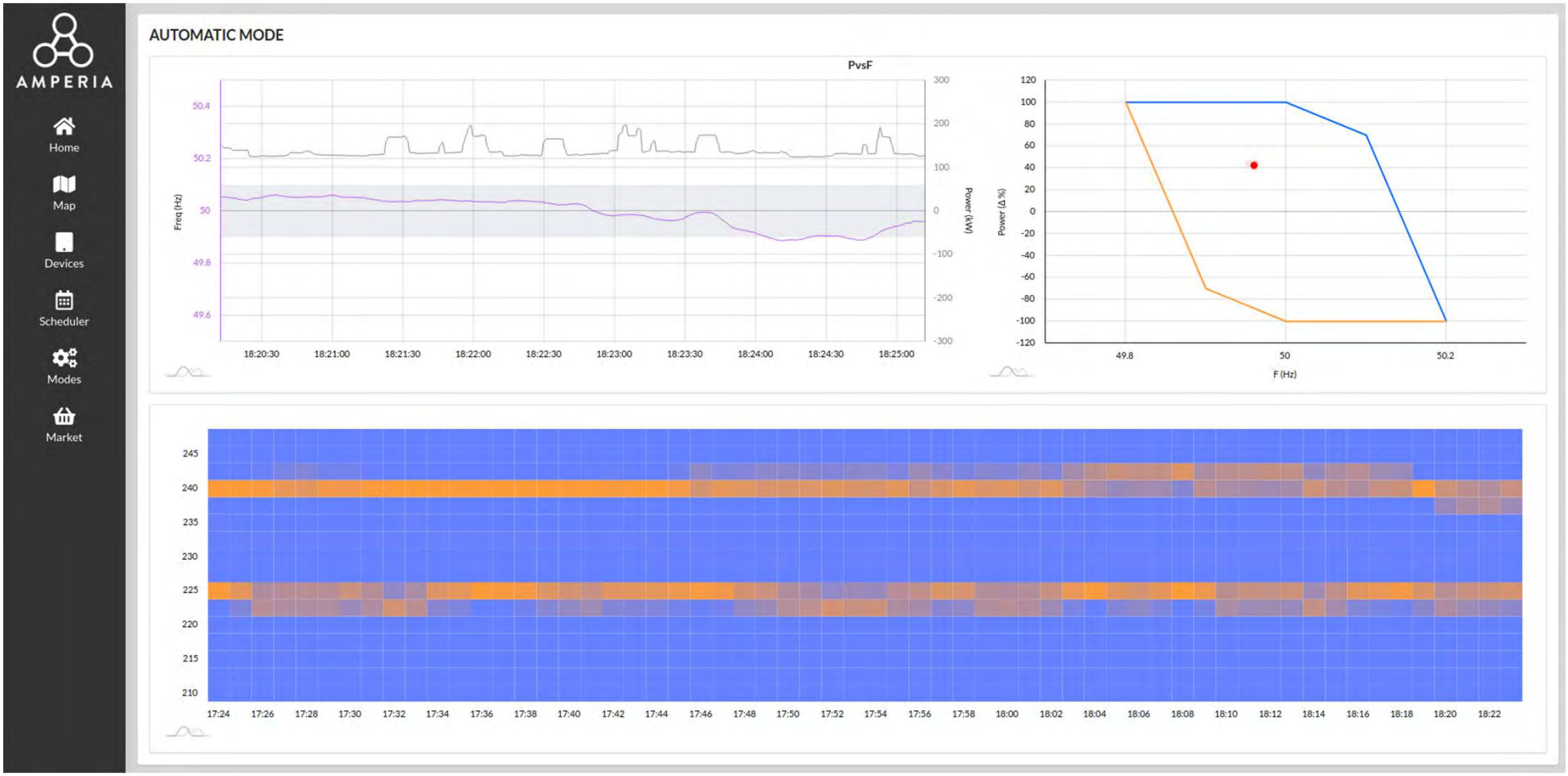
# II Congreso Internacional Ingeniería Energética

AMPERE ENERGY
*ReEnergize your life*

## EL PROYECTO AMPERIA



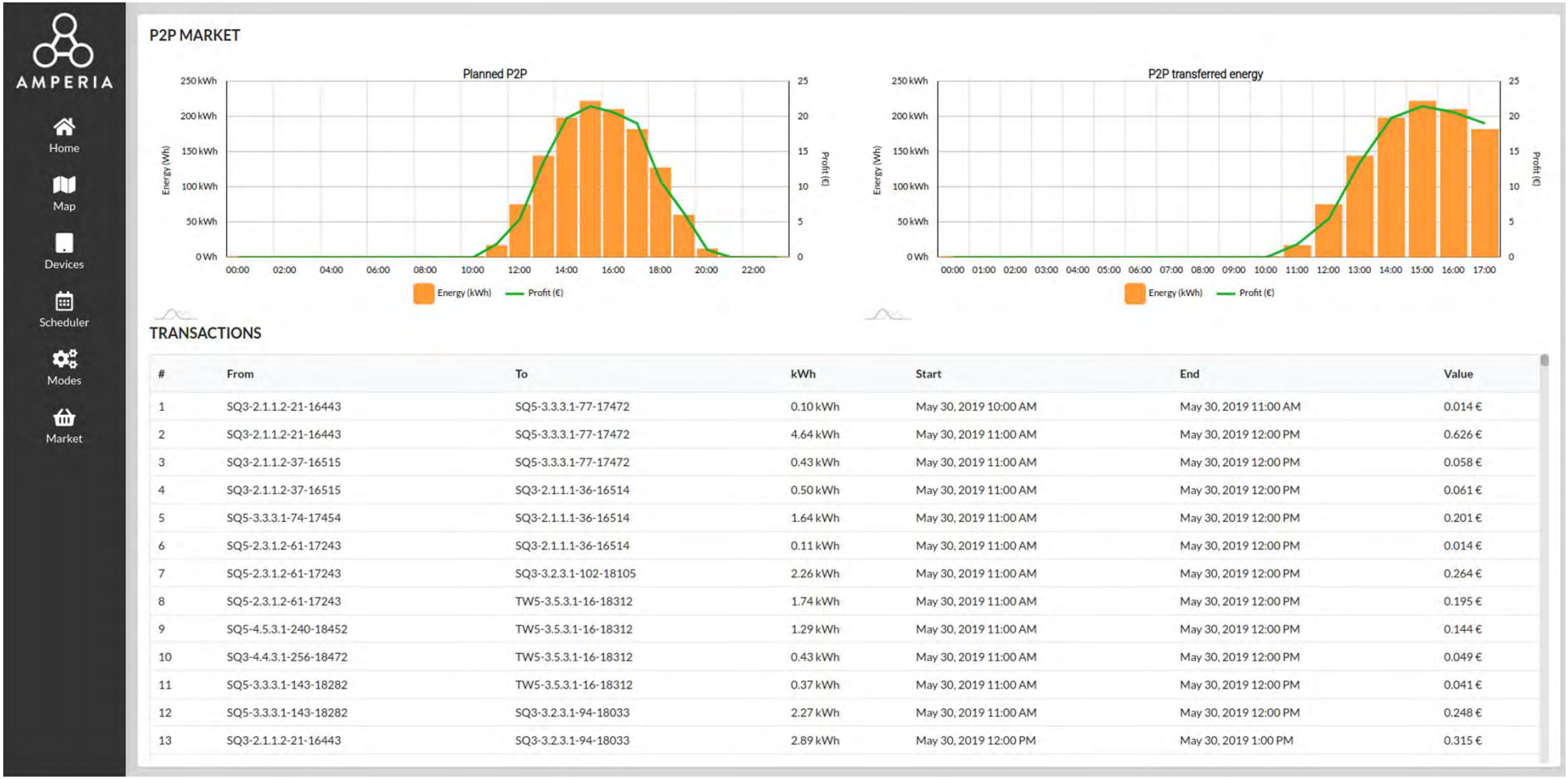
## EL PROYECTO AMPERIA






AMPERE ENERGY
ReEnergize your life

# EL PROYECTO AMPERIA




| # | From | To | kWh | Start | End | Value |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | SQ3-2.1.1.2-21-16443 | SQ5-3.3.3.1-77-17472 | 0.10 kWh | May 30, 2019 10:00 AM | May 30, 2019 11:00 AM | 0.014 € |
| 2 | SQ3-2.1.1.2-21-16443 | SQ5-3.3.3.1-77-17472 | 4.64 kWh | May 30, 2019 11:00 AM | May 30, 2019 12:00 PM | 0.626 € |
| 3 | SQ3-2.1.1.2-37-16515 | SQ5-3.3.3.1-77-17472 | 0.43 kWh | May 30, 2019 11:00 AM | May 30, 2019 12:00 PM | 0.058 € |
| 4 | SQ3-2.1.1.2-37-16515 | SQ3-2.1.1.1-36-16514 | 0.50 kWh | May 30, 2019 11:00 AM | May 30, 2019 12:00 PM | 0.061 € |
| 5 | SQ5-3.3.3.1-74-17454 | SQ3-2.1.1.1-36-16514 | 1.64 kWh | May 30, 2019 11:00 AM | May 30, 2019 12:00 PM | 0.201 € |
| 6 | SQ5-2.3.1.2-61-17243 | SQ3-2.1.1.1-36-16514 | 0.11 kWh | May 30, 2019 11:00 AM | May 30, 2019 12:00 PM | 0.014 € |
| 7 | SQ5-2.3.1.2-61-17243 | SQ3-3.2.3.1-102-18105 | 2.26 kWh | May 30, 2019 11:00 AM | May 30, 2019 12:00 PM | 0.264 € |
| 8 | SQ5-2.3.1.2-61-17243 | TW5-3.5.3.1-16-18312 | 1.74 kWh | May 30, 2019 11:00 AM | May 30, 2019 12:00 PM | 0.195 € |
| 9 | SQ5-4.5.3.1-240-18452 | TW5-3.5.3.1-16-18312 | 1.29 kWh | May 30, 2019 11:00 AM | May 30, 2019 12:00 PM | 0.144 € |
| 10 | SQ3-4.4.3.1-256-18472 | TW5-3.5.3.1-16-18312 | 0.43 kWh | May 30, 2019 11:00 AM | May 30, 2019 12:00 PM | 0.049 € |
| 11 | SQ5-3.3.3.1-143-18282 | TW5-3.5.3.1-16-18312 | 0.37 kWh | May 30, 2019 11:00 AM | May 30, 2019 12:00 PM | 0.041 € |
| 12 | SQ5-3.3.3.1-143-18282 | SQ3-3.2.3.1-94-18033 | 2.27 kWh | May 30, 2019 11:00 AM | May 30, 2019 12:00 PM | 0.248 € |
| 13 | SQ3-2.1.1.2-21-16443 | SQ3-3.2.3.1-94-18033 | 2.89 kWh | May 30, 2019 12:00 PM | May 30, 2019 1:00 PM | 0.315 € |

## CONCLUSIONES

- La gestión agregada de recursos distribuidos de generación y almacenamiento permite una mayor integración de renovables en la red eléctrica.

- El almacenamiento aporta estabilidad a la generación y asegura el mantenimiento de la calidad del suministro.

- Esta tecnología permite empoderar al consumidor y hacerle partícipe de la gestión eficiente de la energía, contribuyendo a disminuir la huella de carbono en el mix de generación eléctrica.

- Quedan barreras legislativas que superar en varios países de la Unión Europea, como España, referentes a la participación de servicios agregados, la integración de la figura del agregador, y la definición de los servicios en los que este podría participar en los distintos mercados de la energía. El RD244, y la iniciativa de mercados locales de flexibilidad IREMEL, muestran un buen camino.

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

AMPERE ENERGY
ReEnergize your life

xbenavides@ampere-energy.com

www.ampere-energy.com

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Gestión inteligente de almacenamiento en redes eléctricas de distribución.

**Autor(es) de la comunicación: X. Benavides[1], I. Benítez[2] y F. Ruiz[3]**

1 Ampere Energy. Avda. del Progrés 13 Puzol, Valencia, España. xbenavides@ampere-energy.com
2 Ampere Energy. Avda. del Progrés 13 Puzol, Valencia, España. ibenitez@ampere-energy.com
3 Ampere Energy. Avda. del Progrés 13 Puzol, Valencia, España. fruiz@ampere-energy.com

**Resumen:** Se presentan conclusiones y resultados de los desarrollos realizados por la empresa Ampere Energy en dos proyectos de I+D de referencia para el desarrollo de Virtual Power Plants con gestión de almacenamiento energético distribuido. Por una parte, el proyecto Amperia, cofinanciado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) y los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER), el cual tiene por objetivo el desarrollo de un sistema integrado de VPP mediante la agregación de sistemas distribuidos de generación renovable con acumulación inteligente. Por otro lado, Ampere Energy participa en el proyecto europeo WiseGRID, financiado por el Programa H2020 de la Unión Europea, aportando sus propios sistemas para la validación del componente de gestión de almacenamiento en un piloto demostrativo, y su conocimiento sobre gestión inteligente de la energía y sistemas de almacenamiento en distintos desarrollos de esta componente, como son el modelo de datos y un estimador que calcula la capacidad disponible en las baterías para ofrecer servicios de gestión de la demanda.

**Palabras clave:** Almacenamiento Energético, Autoconsumo, Virtual Power Plant, Agregador, Mercados Energéticos, Mercados Locales de Flexibilidad.

## 1. INTRODUCCIÓN

La integración en la red eléctrica de distribución de almacenamiento energético en forma de baterías aporta estabilidad a la red y permite la integración de fuentes de energía renovables de naturaleza intermitente, como solar o eólica, asegurando la calidad del suministro (LITJENS, G.B.M.A.et al. (2018)). En el caso de instalaciones de autoconsumo en el sector residencial, sin embargo, los costes de este tipo de sistemas de generación renovable junto con baterías hacen necesario un adecuado dimensionamiento y la necesidad de obtener una remuneración que permita al consumidor o *prosumer* reducir el periodo de retorno de la inversión realizada, a cambio de permitir que su batería pueda participar en servicios de regulación o gestión de demanda en la red, haciendo uso de forma dinámica de la capacidad o flexibilidad no utilizada que la batería puede tener disponible a lo largo del día.

Los sistemas que permiten la integración de estos recursos distribuidos de generación y almacenamiento son las Plantas Virtuales o Virtual Power Plants (VPP). En los últimos años el mercado de este tipo de sistemas que permiten la gestión de recursos distribuidos como un único recurso virtual está ganando cada vez más relevancia, como se puede observar en la Fig.1, en donde se prevé que la inversión en este tipo de sistemas alcance los 2.500 M$ en 2027. Mediante esta gestión centralizada de recursos distribuidos se dispone, además, de una visión global de la capacidad de recursos de energía en todo momento, pudiendo optarse por ofertar los excedentes disponibles de energía en distintos mercados de balance energético, que contribuyen a mantener la calidad de la señal en los rangos de tensión y frecuencia, y también a disminuir la huella de carbono, por la explotación de recursos energéticos cercanos geográficamente y la maximización del autoconsumo con energía renovable, principalmente fotovoltaica.

La empresa Ampere Energy, como compañía líder en el mercado ibérico de producción y comercialización de baterías eléctricas para uso residencial, desarrolla soluciones innovadoras que permiten la gestión optimizada de sus sistemas de baterías de forma agregada. Ampere Energy tiene por objeto el desarrollo, implementación y fabricación de sistemas integrados de gestión y

acumulación de energía para el autoconsumo, principalmente para viviendas unifamiliares o para pequeñas empresas, combinado con instalaciones de generación renovable, en especial de paneles solares fotovoltaicos.

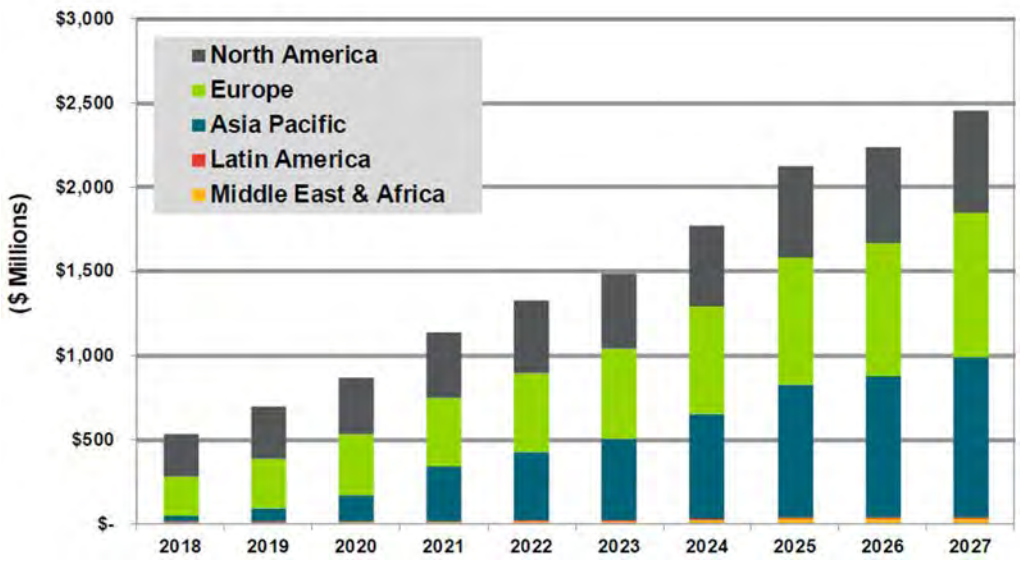



**Figura 1.** *Inversión en VPP por regiones. World Markets: 2018-2027. Fuente: Navigant Research.*

Los equipos de Ampere Energy, como se puede ver en la Fig. 2, llevan integrados un inversor híbrido, para conectar la batería y una instalación de fotovoltaica, la propia batería de iones de Litio y el EMS o Energy Management System desarrollado por la propia empresa, que tiene la misión de planificar la carga y descarga de la batería durante el día de forma óptima, aprovechando al máximo la energía solar generada para el autoconsumo, y teniendo en cuenta los precios de tarifa de discriminación horaria contratada por el cliente.

**Figura 2.** *Interior de los sistemas inteligentes de gestión energética de Ampere Energy, donde se observa el inversor, la batería y el Energy Management System junto a sus protecciones.*

El algoritmo de control del EMS realiza la carga de la batería cuando hay excedente de energía solar o cuando el precio de la energía es más barato, y programa la descarga de la batería para el autoconsumo en aquellas horas del día en que el precio de la energía es más caro, todo ello en función de las previsiones realizadas sobre el consumo individual del usuario y la previsión de generación, cargando durante la noche de la red si es necesario. De esta forma se consigue

aprovechar toda la capacidad de la batería y la generación solar para obtener un ahorro considerable en la factura de energía eléctrica que paga el usuario final por la energía consumida de la red eléctrica. La Fig. 3 muestra este comportamiento.

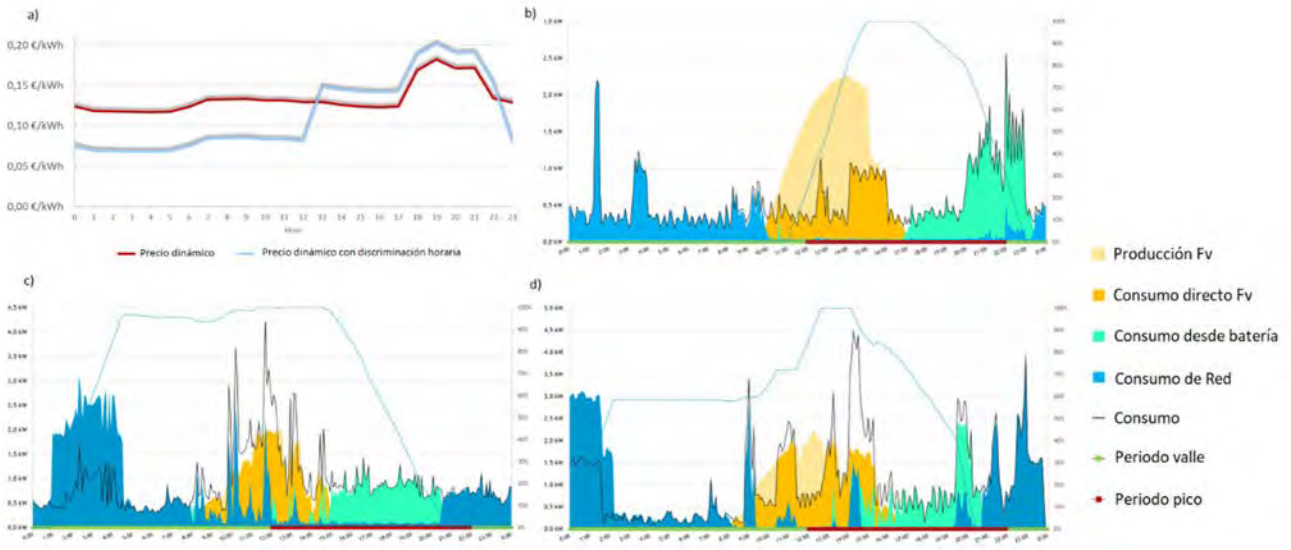



**Figura 3.** *Ejemplo de funcionamiento de los sistemas Ampere Energy, a) Precios dinámicos y con discriminación horaria del mercado, b) Funcionamiento con previsión de generación suficiente para cubrir demanda, c) y d) Funcionamiento con previsión de generación no suficiente para cubrir demanda y precarga en precio mínimo.*

Sobre la gestión del caso base de autoconsumo, un sistema de VPP puede agregar las capacidades disponibles que un conjunto de baterías puede tener a lo largo del día, mediante la modificación de su escenario óptimo de autoconsumo, pero asegurando un beneficio económico al cliente, Ampere Energy estudia y desarrolla sistemas que permiten aprovechar al máximo la capacidad de las baterías para aportar servicios a la red eléctrica, tanto para regulación de tensión y frecuencia, como para la gestión de demanda en la red de distribución ante picos de consumo o un desequilibrio pronunciado entre la generación y la demanda. A continuación, se presentan los resultados de estos sistemas, desarrollados como parte de dos proyectos de I+D, los proyectos Amperia y WiseGRID.

## 2. EL PROYECTO AMPERIA

### 2.1. Descripción del proyecto

El proyecto Amperia tiene por objetivo el desarrollo de un sistema integrado de VPP mediante la agregación de sistemas distribuidos de generación renovable con acumulación inteligente que forman parte del portfolio actual de los productos de Ampere Energy. Para poder acometer el desarrollo de una VPP es necesario trabajar en un Sistema de Control Global que actúa como coordinador de todos sistemas de almacenamiento distribuidos. Como parte de este proyecto se propone el desarrollo de este Sistema de Control Global, así como de un Sistema Inteligente de Almacenamiento Energético basado en baterías con tecnología de Litio-Ion, que esté permanentemente comunicado con el Control Global, de forma que dichos sistemas sean capaces de actuar de forma coordinada cuando el Sistema de Control Global les requiera una modificación en su comportamiento previsto.

Con el desarrollo del proyecto Amperia se persigue ampliar los servicios que actualmente ofrecen los sistemas de almacenamiento a los consumidores o prosumidores (*prosumers*) para otros agentes, como la nueva figura del Agregador, el cual puede ofrecer en mercados de servicios complementarios las capacidades individuales agregadas de un conjunto de estos sistemas (FITZGERALD, G. et al. (2015)). La participación en estos mercados permite obtener un beneficio económico para el prosumidor, por el uso de la capacidad extra disponible de su instalación.

Para la consecución de estos resultados se definen una serie de objetivos técnicos específicos, con una fuerte componente de innovación, entre los que se encuentra el Sistema de Control Global ya mencionado anteriormente. Estos objetivos técnicos son los siguientes:

- El estudio y desarrollo de modelos específicos de negocio y explotación del futuro sistema VPP Amperia.
- Desarrollo de funciones de coste de todas las aplicaciones de las baterías que incluyan el envejecimiento estimado por uso (cycling) y por tiempo (aging) de las mismas.
- Desarrollo de modelos de estimación de envejecimiento de la batería.
- Desarrollo e implementación de algoritmos de control óptimo multiobjetivo local y de un Sistema de Control Global que tiene en cuenta las funciones de coste, así como el envejecimiento de la batería.
- Desarrollo de protocolos de comunicaciones adecuados a los requerimientos de envío de información y capacidad de procesamiento.
- Desarrollo de tecnología blockchain para los registros de transferencia de energía y beneficios por servicios.
- Desarrollo de plataforma software cloud para alojar el controlador global y la gestión del sistema.
- Desarrollo de plataforma que permita las transacciones directas entre usuarios (Peer to Peer trading)
- Desarrollo de entorno de simulación software y en laboratorio para ensayos previos al piloto.
- Implantación de ensayo piloto real en zona residencial.
- Desarrollo de metodología para evaluar y validar el funcionamiento de la VPP.

Los trabajos de desarrollo se están llevando a cabo por la propia Ampere Energy con la ayuda de tres centros de investigación: la Universitat Jaume I de Castelló (UJI), la Universitat Politècnica de València (UPV) y el Instituto Tecnológico de la Energía (ITE).

## 2.2. Resultados

Ampere Energy ha desarrollado el primer sistema VPP de gestión distribuida de sistemas de almacenamiento para el autoconsumo junto con generación renovable, que permite optimizar de forma dinámica la capacidad de las baterías asegurando un beneficio económico para los clientes (por la remuneración que obtienen por la participación de sus baterías servicios de flexibilidad, asumiendo posibles costes por modificar su comportamiento previsto para el caso base de autoconsumo). De esta manera, la plataforma VPP Amperia selecciona los escenarios de participación que maximizan el beneficio económico al conjunto de prosumidores que participan con sus baterías en uno o varios servicios ofertados. Estos servicios se ponen en marcha por el operador del mercado o del sistema de transporte, y varían en cada país, pudiendo ofrecer desde servicios de regulación de tensión y frecuencia (primaria y secundaria) hasta servicios de gestión de la demanda en mercados locales de flexibilidad, a petición del operador de la red de distribución.

Por ejemplo, a continuación (Fig. 4), se observa una simulación de respuesta antes una señal de gestión de demanda de un conjunto de clientes, siguiendo un perfil de consignas específico. Los datos empleados para la simulación son reales y provienen de los perfiles de comportamiento de un conjunto de instalaciones reales de clientes de Ampere Energy en España. Como se puede observar en la Figura, el sistema Amperia calcula la flexibilidad o capacidad agregada que las baterías pueden gestionar, tanto para aumentar el consumo de red como para inyectar generación renovable (proveniente de cubiertas fotovoltaicas) en el sistema. La banda de capacidad disponible para este ejemplo, de Mayo de 2018, se mueve entre los 100 kW agregados, tanto para consumir de la red como para inyectar en la misma.

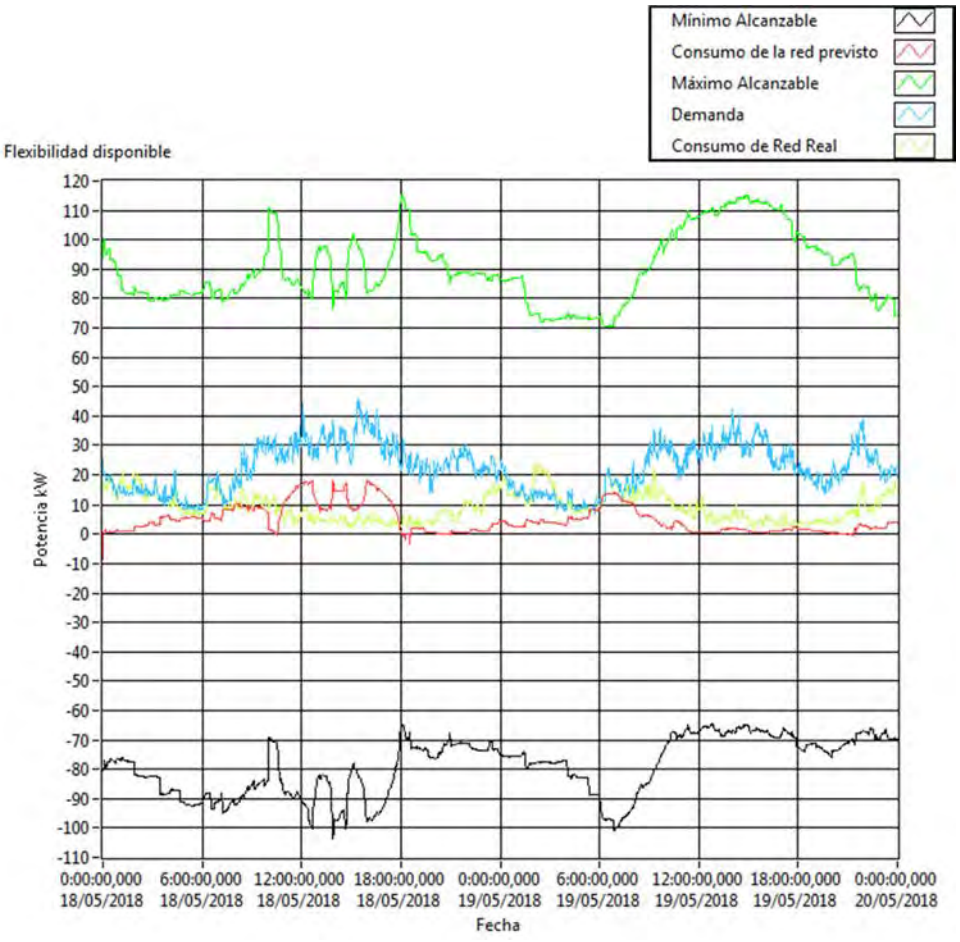



**Figura 4**. *Ejemplo de flexibilidad disponible de un conjunto agregado de baterías y respuesta del sistema frente a consignas específicas de demanda de red durante el día 18 de Mayo, de 11 a 18 horas.*

Para poder ofrecer los escenarios que maximizan el beneficio económico para los consumidores, la plataforma Amperia calcula los costes de oportunidad asociados a cualquier modificación de la flexibilidad disponible. La Fig, 5 muestra el cuadro principal de la plataforma Amperia, en donde se pueden observar, a partir de un conjunto de instalaciones reales (Fig. 6), la flexibilidad total disponible (arriba derecha), los costes de oportunidad asociados a cualquier variación sobre el caso base de autoconsumo de los clientes (denominada elasticidad), y los datos reales y previsiones de generación y demanda agregados (en la parte de abajo).

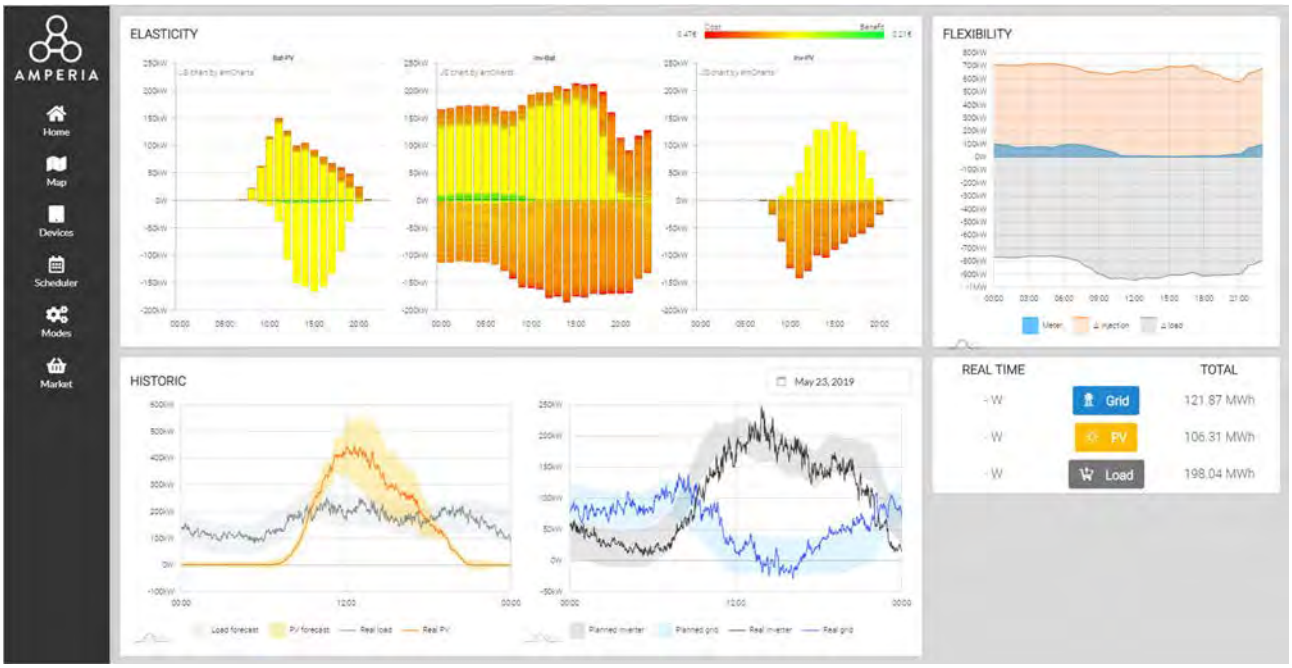



**Figura 5**. *Dashboard principal de la plataforma Amperia VPP, en donde se puede observar la flexibilidad disponible de la VPP (arriba derecha), la elasticidad asociada (arriba izquierda) y los datos reales y previsiones de generación y consumo agregados (abajo).*

**Figura 6**. *Sistema de Información Geográfica (GIS) de los equipos Ampere que participan en la VPP, plataforma Amperia.*

La plataforma Amperia permite ofrecer distintos servicios de participación de sistemas agregados de prosumidores, seleccionando las combinaciones de ofertas de participación que permitan un mayor beneficio económico a los usuarios. La Fig. 7 muestra uno de estos servicios o modos posibles de funcionamiento, que es la reserva de una banda de potencia para participación en servicios de regulación, en este caso secundaria, de tensión y frecuencia.

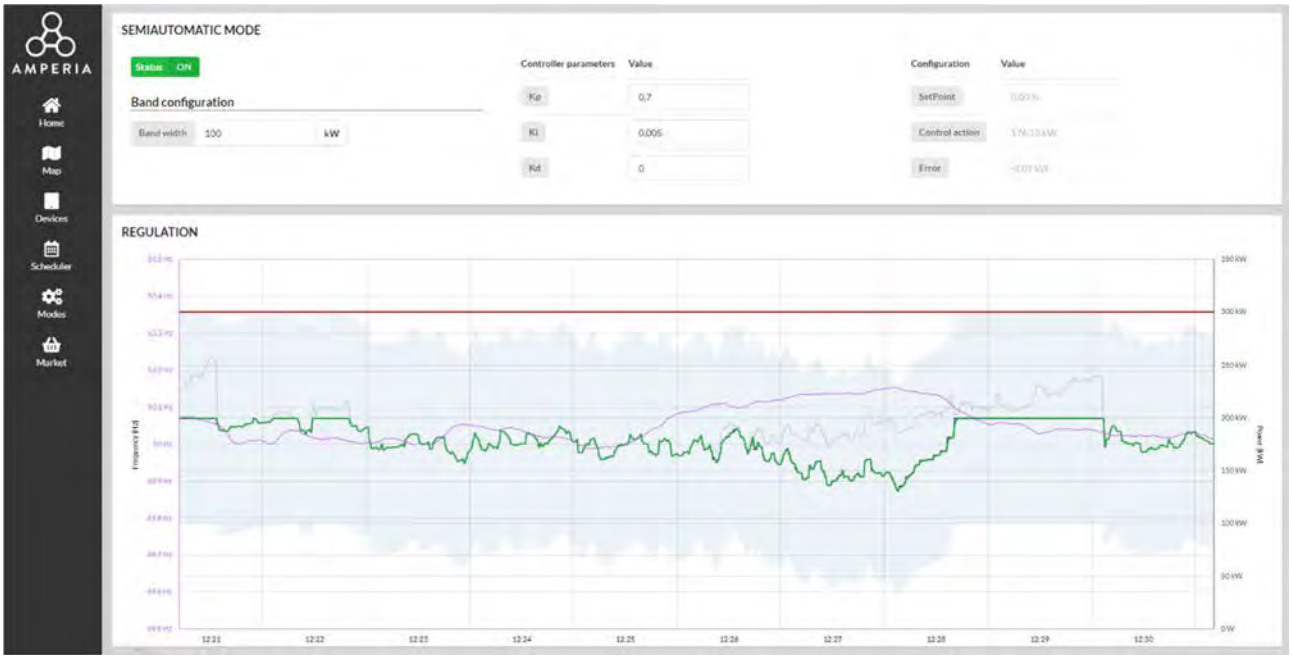



**Figura 7**. *Modo de funcionamiento semiautomático de la plataforma Amperia VPP. Regulación de frecuencia.*

Ampere Energy participa también en el desarrollo de soluciones de agregación de almacenamiento distribuido para gestión de la demanda en redes de distribución, en el proyecto europeo WiseGRID, que se describe a continuación.

## 3. EL PROYECTO WISEGRID

### 3.1. Descripción del proyecto

El proyecto WiseGRID (www.wisegrid.eu ) tiene como principal objetivo mejorar la seguridad, sostenibilidad y capacidad de las redes inteligentes de distribución de energía eléctrica y al mismo tiempo posicionar al cliente o usuario final en el centro de la transformación de la red eléctrica del futuro. Para ello, el proyecto WiseGRID propone el desarrollo, integración y demostración de sistemas avanzados de tecnologías de información y comunicaciones en las redes de distribución de energía eléctrica, promoviendo un mayor aprovechamiento de los recursos distribuidos de almacenamiento energético y de fuentes de energía renovable. Estos sistemas permiten una red más segura, sostenible y adaptable a una capacidad variable de generación y demanda en todo momento, facilitando la integración de una cada vez mayor cantidad de sistemas de almacenamiento energético, generadores de energía renovable, postes de recarga para vehículos eléctricos y sistemas de gestión de demanda. El Consorcio del proyecto está liderado por GRUPO ETRA y cuenta, junto con Ampere Energy, con la presencia de empresas y organismos de España, Bélgica Francia, Italia, Alemania, Grecia, Rumanía y Reino Unido, formando un total de 21 socios, con un presupuesto total de más de 17 millones de euros.

El desarrollo se divide en Componentes independientes que permiten la integración de recursos energéticos distribuidos en la red eléctrica y también se facilitan las herramientas necesarias para que la energía gestionable de todos estos sistemas pueda ser comercializada en mercados específicos de prestación de servicios de la red eléctrica de distribución. Estos Componentes, que se pueden observar en la Fig. 8, son los siguientes:

- WG IOP (WiseGRID InterOperable Platform). Plataforma escalable, interoperable, segura y abierta, con interfaces que permiten la monitorización y control en tiempo real de todos los activos y procesos integrados en el ecosistema WiseGRID, y el envío masivo de información entre los distintos Componentes.
- WG Cockpit. Centro de control de redes de distribución, desarrollado para permitir a los operadores de la red integrar nuevas funcionalidades que mejoran la gestión de la red eléctrica y permiten la integración de recursos distribuidos como almacenamiento energético o fuentes de energía renovables.
- WiseCOOP (WiseGRID Cooperatives Application). Aplicación para comercializadoras y cooperativas de energía eléctrica que permite por una parte el diseño de tarifas con discriminación horaria y su previsión de respuesta o elasticidad por parte de los clientes y, por otra, facilita a estas empresas operar en el nuevo rol de agregadores de energía, permitiendo agregar recursos y comercializar con ellos en los mercados de la energía, tanto para descongestión de la red, como para servicios complementarios que contribuyen a mantener en todo momento la tensión de la red dentro de sus valores de referencia.
- WiseCORP (WiseGRID Corporate Application). Aplicación para edificios, empresas o recintos industriales, que permite la gestión de los consumos y la producción de estos usuarios. También puede responder a peticiones de respuesta de la demanda, con el objetivo de contribuir a mantener en todo momento el equilibrio necesario entre generación y demanda en la red eléctrica.
- WiseHome. Aplicación que permite a los consumidores domésticos (también llamados prosumidores) una mayor gestión de sus consumos, mediante la integración de herramientas que permiten la visualización en tiempo real de consumos y tarifas y la configuración de opciones de gestión de demanda.
- WiseEVP (WiseGRID Electric Vehicle Platform). Plataforma diseñada para operadoras de flotas de vehículos, como empresas de "car-sharing", que permite la optimización multicriterio de las recargas de baterías de vehículos eléctricos, con la funcionalidad añadida de poder gestionar de forma agregada la capacidad disponible de las baterías conectadas para ofrecer en el mercado servicios de gestión de demanda y servicios complementarios de red.
- WG FastV2G (WiseGRID Fast Vehicle–to–Grid). Estación de carga rápida para vehículos eléctricos, que permite inyectar en la red capacidad disponible de las baterías de estos, aportando de esta manera servicios complementarios y de gestión de demanda a la red eléctrica.
- WG StaaS/VPP (WiseGRID energy Storage as a Service/Virtual Power Plants). Plataforma que permite agregar la energía disponible de un conjunto de recursos distribuidos de almacenamiento energético, tales como baterías que se encuentran en las instalaciones de los prosumidores, realizando normalmente funciones de maximización del autoconsumo, como apoyo a fuentes de generación renovable. En los momentos del día en que hay energía disponible en la batería, tanto para cargar la misma, consumiendo energía de la red, como para descargarla, inyectando energía a la red, el WG StaaS/VPP permitirá gestionar de forma agregada estos recursos y comercializar con ellos a través de la figura de un agregador, ofreciendo servicios de gestión de demanda y servicios complementarios en mercados de la energía.
- WG RESCO (WiseGRID Renewable Energy Service Company). Aplicación que permitirá a las empresas de servicios energéticos, sobre todo las que gestionan fuentes de energía renovables (RESCOs), aplicar nuevos modelos de negocio.

El conjunto de todos los Componentes permite alcanzar las siete principales funcionalidades o casos de uso del sistema WiseGRID, que son los siguientes:

1. Integración de recursos energéticos distribuidos en la red.
2. Control automatizado y descentralizado de la red.
3. Integración en la red de servicios de movilidad eléctrica y V2G.
4. Integración de almacenamiento energético de baterías a nivel de prosumidor y de subestación.
5. Integración de cogeneración en edificios y viviendas.
6. Viabilidad técnica y económica de VPP.
7. Empoderamiento de los ciudadanos en el mercado energético y reducción de pobreza energética.

**Figura 8.** *Componentes del proyecto WiseGRID.*

## 3.2. Resultados

Ampere Energy participa en el proyecto como socio tecnológico aportando sus propios sistemas para la validación del Componente WG StaaS/VPP en un piloto demostrativo. Así mismo, aporta su conocimiento sobre gestión inteligente de la energía y sistemas de almacenamiento en distintos desarrollos necesarios para el funcionamiento del WG StaaS/VPP y la flexibilidad que puede aportar el vehículo eléctrico a nivel residencial dentro del marco de trabajo de la respuesta en demanda. Estos trabajos incluyen, entre otros, los siguientes:

- La definición de un modelo de datos para comunicar con sistemas de almacenamiento energético de forma remota. El modelo de datos está diseñado para que sea genérico e interoperable para cualquier sistema de almacenamiento cuya funcionalidad principal es contribuir al autoconsumo de la instalación junto con una fuente de energía renovable, como una instalación solar fotovoltaica. La Tabla I muestra un extracto de este modelo de información.
- El desarrollo de un modelo de flexibilidad, el cual permite estimar la capacidad disponible de la batería, tanto para carga como para descarga, a partir del consumo previsto si la batería se usa únicamente para el autoconsumo. La Fig. 9 muestra un ejemplo de esta información, donde se observa la variación de potencia disponible de la batería para inyectar en la red (ΔPinj) y para cargar desde la red (ΔPload) sobre el consumo neto previsto (Meter forecast), siendo este último el resultado del consumo previsto en la vivienda o instalación, menos la

producción renovable generada y teniendo la energía prevista en carga y descarga por la batería en un escenario base de autoconsumo.

- La definición de procedimientos para la participación en mercados de gestión de demanda, también llamados mercados de flexibilidad. La participación del WG StaaS/VPP en estos mercados se realiza a través de la figura del Agregador, siguiendo esquemas como el que define el modelo USEF (*Universal Smart Energy Framework*), y que se puede ver en la Fig. 10.
- El desarrollo de un modelo de flexibilidad para el vehículo eléctrico, Partiendo de la previsión de tiempos de conexión a un punto de recarga, las características técnicas de éste y la previsión del estado de carga al inicio (SOC0) y al final (SOCend) del tiempo de conexión, el algoritmo de Flexibilidad para un Vehículo Eléctrico permite calcular la flexibilidad asociada éste en cualquier periodo de tiempo. El resultado de este algoritmo aporta información sobre la variación de potencia disponible en cada instante de tiempo tanto, tanto modulando la potencia de carga del vehículo (G2V) como invirtiendo el flujo y mostrando la potencia disponible para inyectar a la red (V2G). Todas estas variaciones se aplican sobre el comportamiento previsto del vehículo y el punto de recarga. La Fig. 11 muestra un ejemplo de este modelo.

**Tabla I.** *Modelo de datos para la gestión de almacenamiento distribuido en entorno de VPP. Fuente: proyecto WiseGRID. StaaS/VPP Component.*

| **Variables** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Type | Variable | Explanation | Units | Range |
| Double | MeterActivePower | at the grid connection point of the household as measured by the battery controller | W | [-Pmax, Pmax] |
| Double | MeterReactivePower | at the grid connection point of the household as measured by the battery controller | VAr | [-Qmax, Qmax] |
| Double | InverterActivePower | (AC) active power of the battery inverter | W | [-Pmax, Pmax] |
| Double | InverterReactivePower | of the battery inverter | VAr | [-Qmax, Qmax] |
| Double | InverterPVPower | of the PV inverter included in a battery system, if it is such a “hybrid” system | W | [-Pmax, Pmax] |
| Double | ExternalPVPower | of a stand-alone PV inverter, which is somehow measured by or in communication with the battery controller | W | [-Pmax, Pmax] |
| Double | InverterBatteryPower | DC power of the battery inverter | W | [-Pmax, Pmax] |
| Double | BatterySOC | usable energy presently in the battery divided by actually usable energy capacity | % | [0, 100] |
| Double | BatterySOH | actually usable energy capacity divided by rated capacity | % | [0, 100] |
| Double | BatteryVoltage | | V | [0, 500] |
| Double | MeterGridVoltage | at the grid connection point of the household as measured by the battery controller | V | [0, 500] |
| Double | MeterGridFrequency | at the grid connection point of the household as measured by the battery controller | Hz | [0, 500] |
| Array | Temperatures | | | |
| | BattCellMaxT | maximum temperature of the battery cells | ºC | [-500, 500] |
| | BattCellMinT | minimum temperature of the battery cells | ºC | [-500, 500] |
| | InverterT | inverter IC temperature | ºC | [-500, 500] |

Los distintos módulos y subsistemas que componen el WG StaaS/VPP se implementan en una aplicación web, que permita validar el desarrollo mediante pruebas, primero en laboratorio, y posteriormente en pilotos demostrativos en el ámbito del proyecto. La Fig. 12 muestra un ejemplo con pruebas de funcionamiento de esta aplicación.

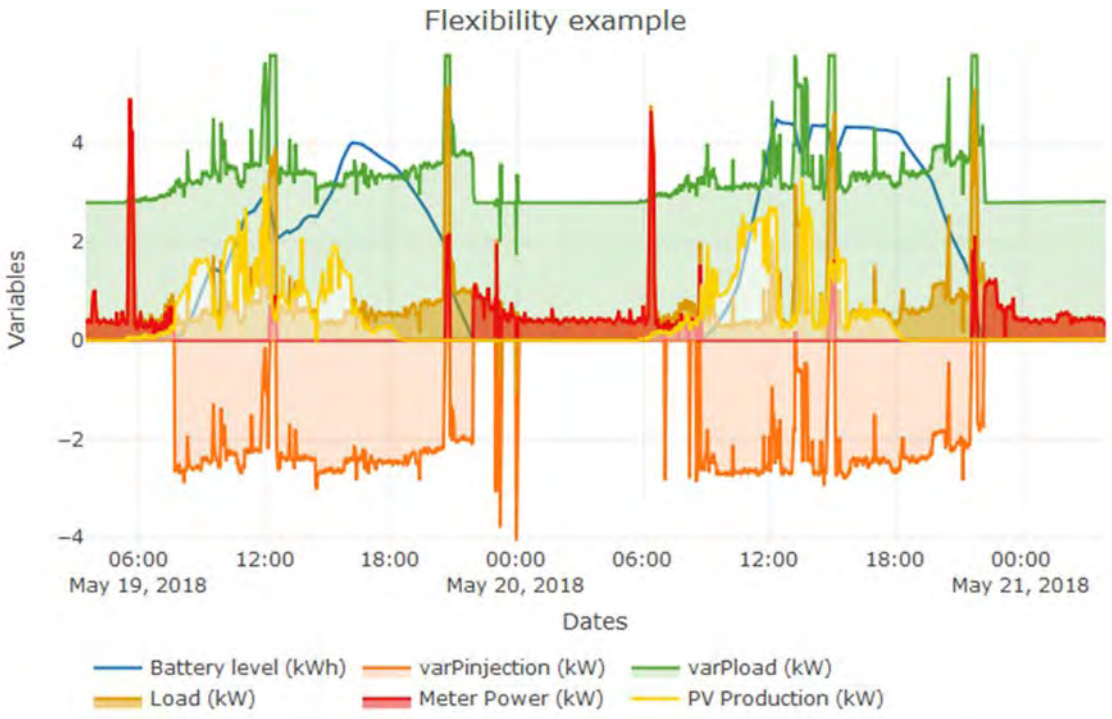



**Figura 9**. *Ejemplo de estimación de flexibilidad para una batería. Fuente: WiseGRID - D6.2 Storage as a service and innovative optimized solutions. (www.wisegrid.eu ).*

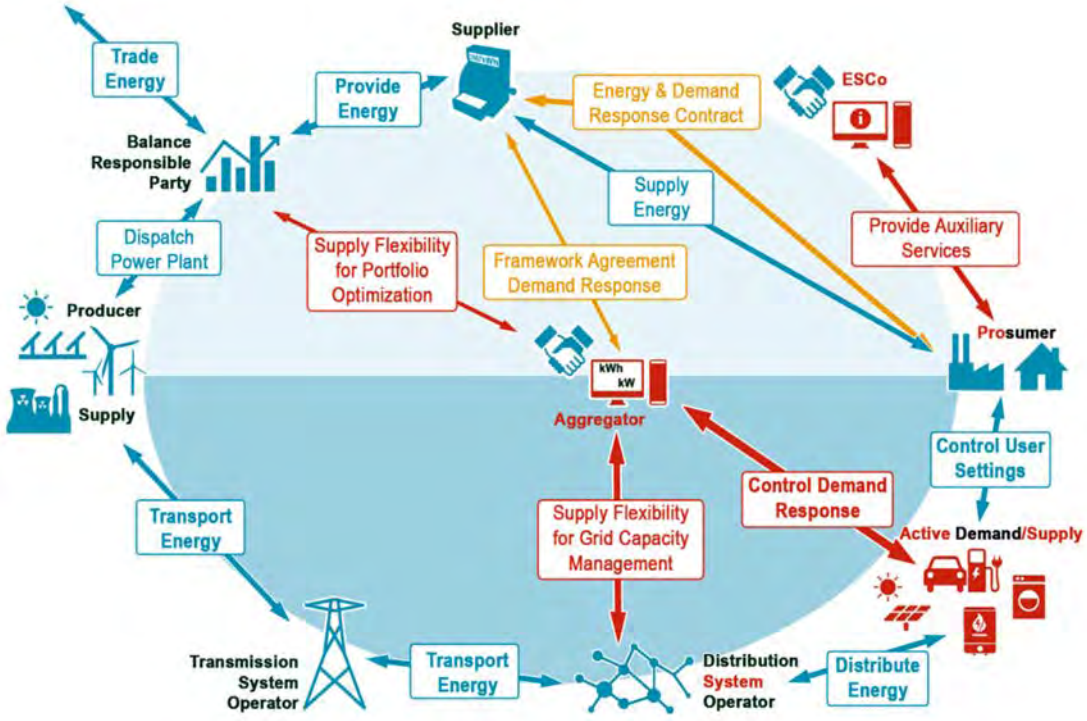



**Figura 10.** *Modelo USEF para la figura del agregador y su participación en mercados de flexibilidad. Fuente: USEF Foundation (https://www.usef.energy/ ).*

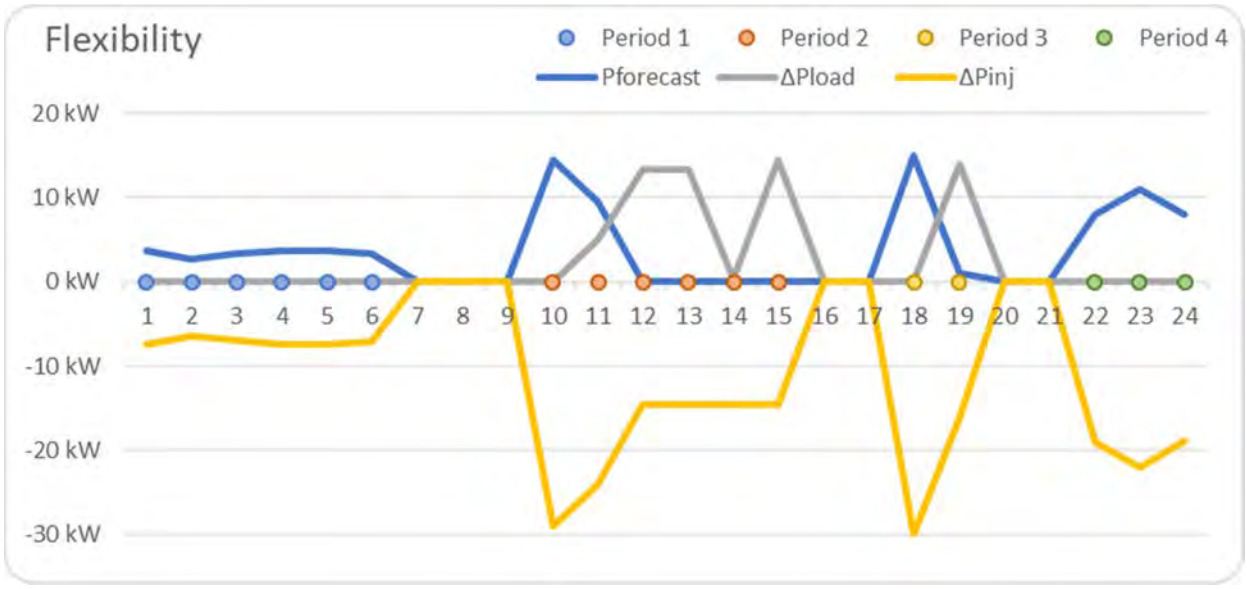



**Figura 11.** *Ejemplo de estimación de flexibilidad durante 24 horas para la recarga de vehículo eléctrico asociada a un punto de recarga.*

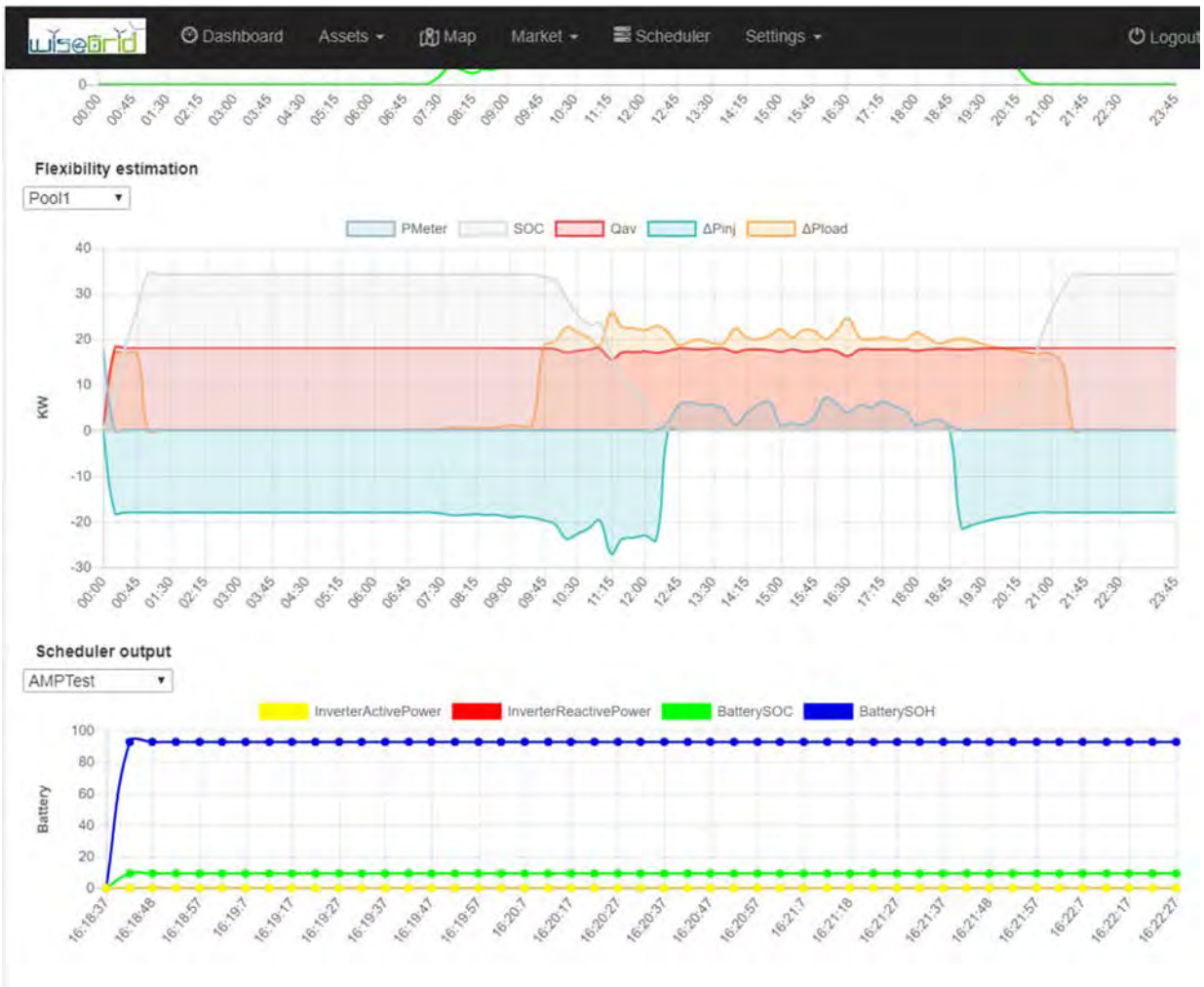



**Figura 12.** *Pruebas de obtención de flexibilidad agregada de un conjunto de baterías y perfil de gestión remota para una de ellas, aplicación WiseGRID StaaS/VPP.*

## 4. CONCLUSIONES

La gestión agregada de recursos distribuidos de generación y almacenamiento permitirá una mayor integración de renovables en la red eléctrica, ya que el almacenamiento aporta estabilidad a la generación y asegura el mantenimiento de la calidad del suministro. Esta aportación desde equipos desplegados para el autoconsumo en instalaciones de uso residencial y terciario permitirá empoderar al consumidor y hacerle partícipe de la gestión eficiente de la energía, contribuyendo a disminuir la huella de carbono en el mix de generación eléctrica. En este sentido, los Estados miembros de la Unión Europea han detallado los planes integrados de energía y clima en donde plantean los pasos para conseguir una generación si combustibles fósiles en el año 2050. Permitir la participación de recursos agregados de generación y almacenamiento en los mercados de ajuste y de servicios complementarios, como ya se hace en algunos países, contribuirá a facilitar el camino para alcanzar este objetivo, siendo por tanto, necesaria, la integración de sistemas de autoconsumo con almacenamiento en instalaciones de baja potencia conectadas a la red de distribución eléctrica.

Para conseguir este paso, quedan barreras legislativas que superar en varios países de la Unión Europea, como España, referentes a la participación de servicios agregados, la integración de la figura del agregador, y la definición de los servicios en los que este podría participar en los distintos mercados de la energía. No obstante, se están produciendo avances, como los proyectos piloto de mercados locales de flexibilidad para mitigar congestiones puntuales en redes de distribución, en los que participarán recursos distribuidos conectados a baja y media tensión. El reciente Real Decreto de autoconsumo también se considera en este sentido un paso más en el camino para permitir la integración de recursos distribuidos en la red eléctrica y aprovechar al máximo la generación renovable deslocalizada.

## 5. AGRADECIMIENTOS

El proyecto Amperia está cofinanciado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) y los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER).

UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)
*Una manera de hacer Europa*

MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES

CDTI Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial

El proyecto WiseGRID ha sido financiado por el Programa H2020 de la Unión Europea (Grant Agreement No. 731205) dentro de la convocatoria LCE (Low Carbon Energy) – 02 – 2016.

## 6. REFERENCIAS

FITZGERALD, G. et al. (2015).: "The Economics of Battery Energy Storage: How multi-use, customer-sited batteries deliver the most services and value to customers and the grid", Rocky Mountain Institute.

LITJENS, G.B.M.A. et al. (2018).: "Economic benefits of combining self-consumption enhancement with frequency restoration reserves provision by photovoltaic-battery systems". Applied Energy. Volume 223, 1 August 2018, Pages 172-187. Elsevier.

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

| | |
|---|---|
| 9:45 - 11:30 | **SESIÓN 4 PLENARIA. ALMACENAMIENTO Y FOTOVOLTAICA**<br>Modera: D. Piet Holtrop. **Holtrop S.L.P. Transaction & Business Law** |
| | "Gestión inteligente de almacenamiento en redes eléctricas de distribución". **Xavier Benavides Rel.** Chief Technology Officer. **AMPERE ENERGY** |
| | "Drones, un futuro de Energías Renovables". **Angélica Bellver Climent.** Chief Technology Officer. **EMIN DRONE SYSTEMS** |
| | "El futuro de la fotovoltaica: seguimiento bifacial". **Miguel Pozuelo Monfort.** Sales Manager Europe. **SOLTEC** |
| | **Café / Networking** |
| 11:30 - 12:00 | **Continuación SESIÓN 4 PLENARIA** |
| 12:00 - 12:15 | "Contratos Tipo PPA" **Jaime Jaquotot Núñez. JOTA QUATTRO ADVISORS S.L.** |

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# DRONES: UN FUTURO DE ENERGÍAS RENOVABLES

Angélica Bellver Climent

IDS

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice


1 INTRODUCCIÓN A LOS DRONES

2 APLICACIONES ENERGÉTICAS

2.1 FASE ANÁLISIS

2.2 FASE EJECUCIÓN

2.3 FASE EXPLOTACIÓN

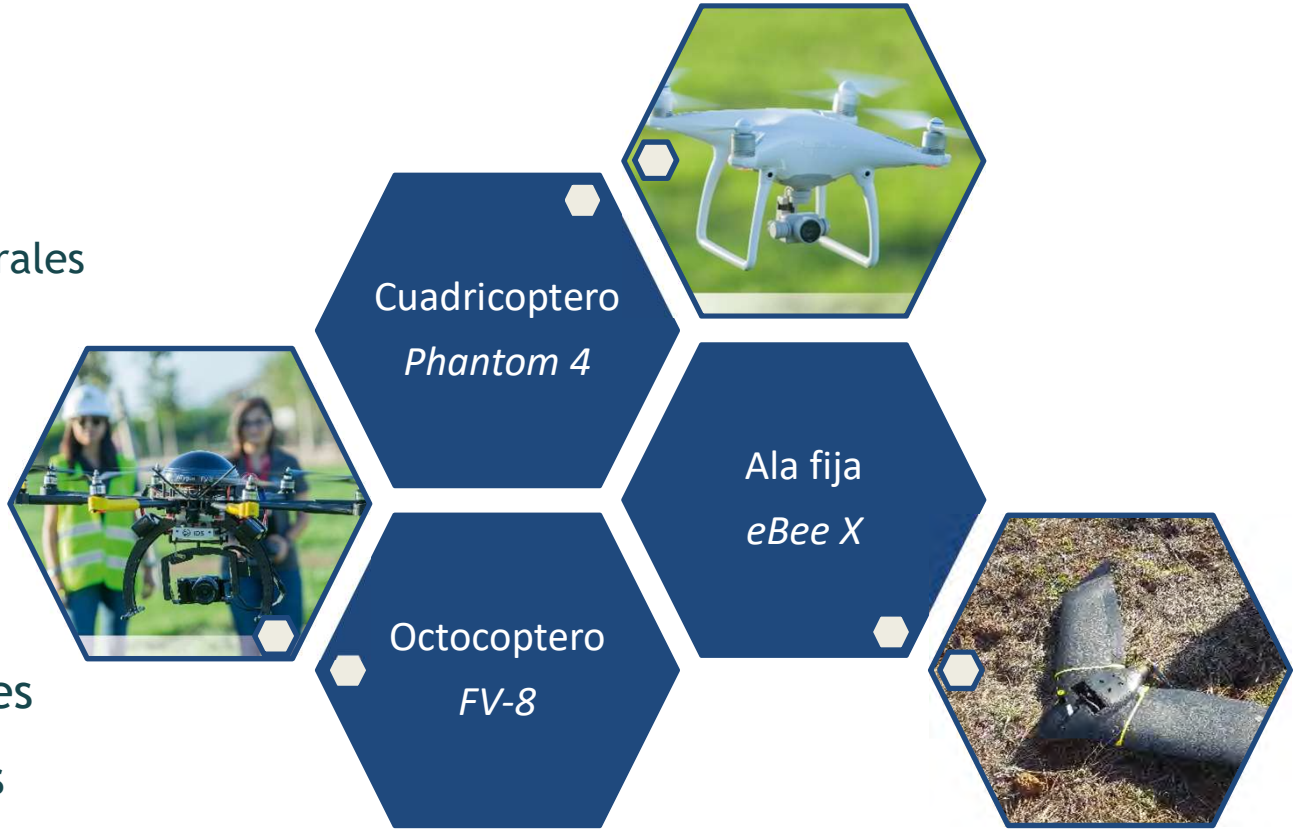
3 VENTAJAS DEL USO DE DRONES

2.1 CASOS DE ÉXITO

# INTRODUCCIÓN A LOS DRONES

Cargas de pago:

- Cámaras RGB
- Cámaras térmicas
- Cámaras multiespectrales




Captura de imágenes

Filmación de vídeos

# APLICACIONES ENERGÉTICAS

| ANÁLISIS | | |
|---|---|---|
| Deslinde de la propiedad de fincas y parcelas | Estudio topográfico de los terrenos | Inventario y evaluación ambiental |

| EJECUCIÓN | |
|---|---|
| Replanteo | Control y seguimiento de obra |

| EXPLOTACIÓN | |
|---|---|
| Análisis de rendimiento de la instalación | Inspección con imágenes termográficas |

# FASE ANÁLISIS

## Vuelo RPAS

### Deslindes y estudios de propiedad

- Estudios de títulos de propiedad
- Estudios de cartografía catastral histórica
- Límites físicos: deslindes y amojonamientos
- Acuerdos entre propietarios
- Resolución de discrepancias catastro-registro

### Estudio topográfico

- Modelos digitales del Terreno y ortofotos
- Levantamientos de gálibos de líneas eléctricas/telefónicas
- Modelados 3D con visualizador
- Análisis de pendientes

### Evaluación ambiental

- Inventarios ambientales de especies vegetales, incluyendo la identificación de arbolado: especie, altura y diámetro de copa.
- Delimitación de vaguadas, zonas inundables, barrancos, desagües naturales y todo tipo de zonas de alto riesgo para la instalación.
- Análisis de cuencas visuales.
- Estudios de las medidas de integración paisajística del proyecto.

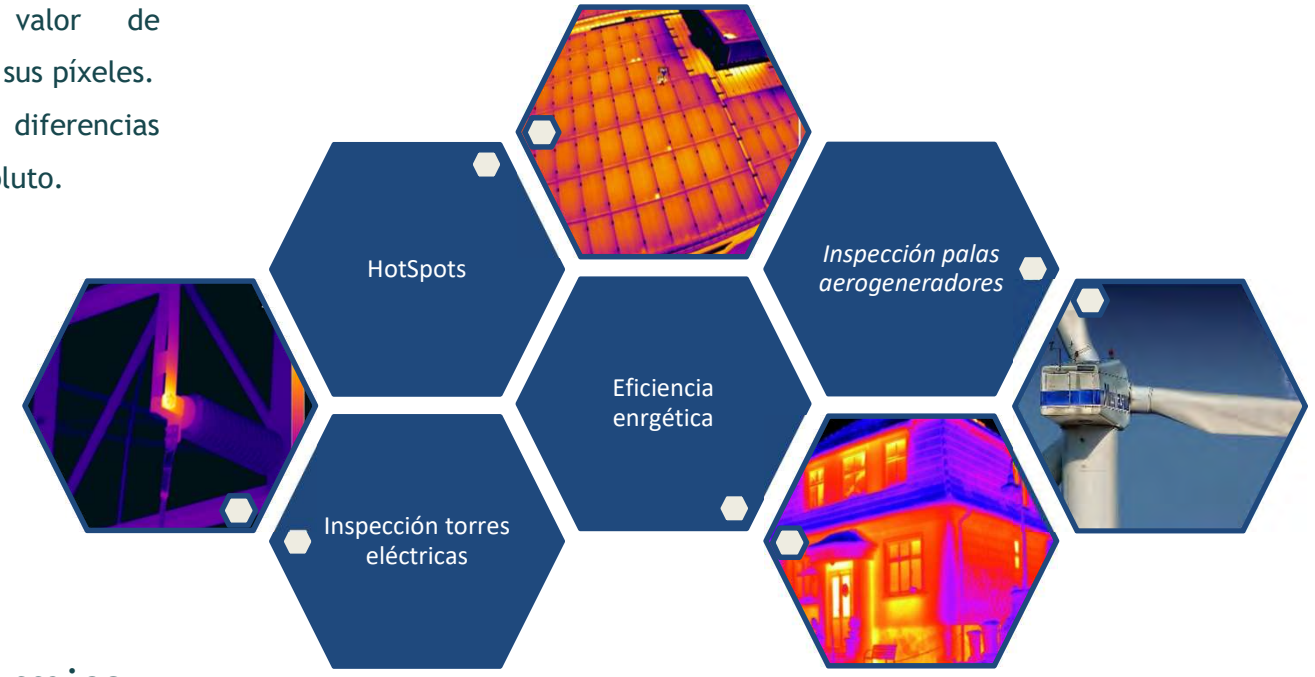
# FASE EJECUCIÓN

Control visual y geométrico de la obra mediante vuelos repetitivos de la instalación y comparativa entre ellos.

# FASE EXPLOTACIÓN

Tipos de cámaras térmicas:

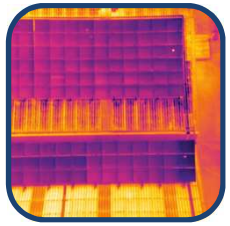
- **Cámaras radiométricas:** valor de temperatura en cada unos de sus píxeles.
- **Cámaras no radiométricas:** diferencias de temperatura sin valor absoluto.




Inspección visual y térmica

# FASE EXPLOTACIÓN

## Vuelo RPAS térmico



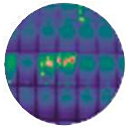
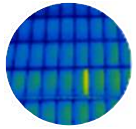
Funcionamiento:

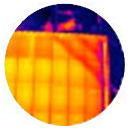
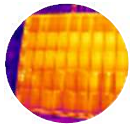
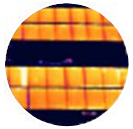
- Análisis incial del huerto solar. Identificación precisa de Strings y módulos de forma individual.
- Planificación del vuelo en base a la información de la planta.
- Toma de termografías
- Identificación de anomalías y análisis de causas.

Generación de informes

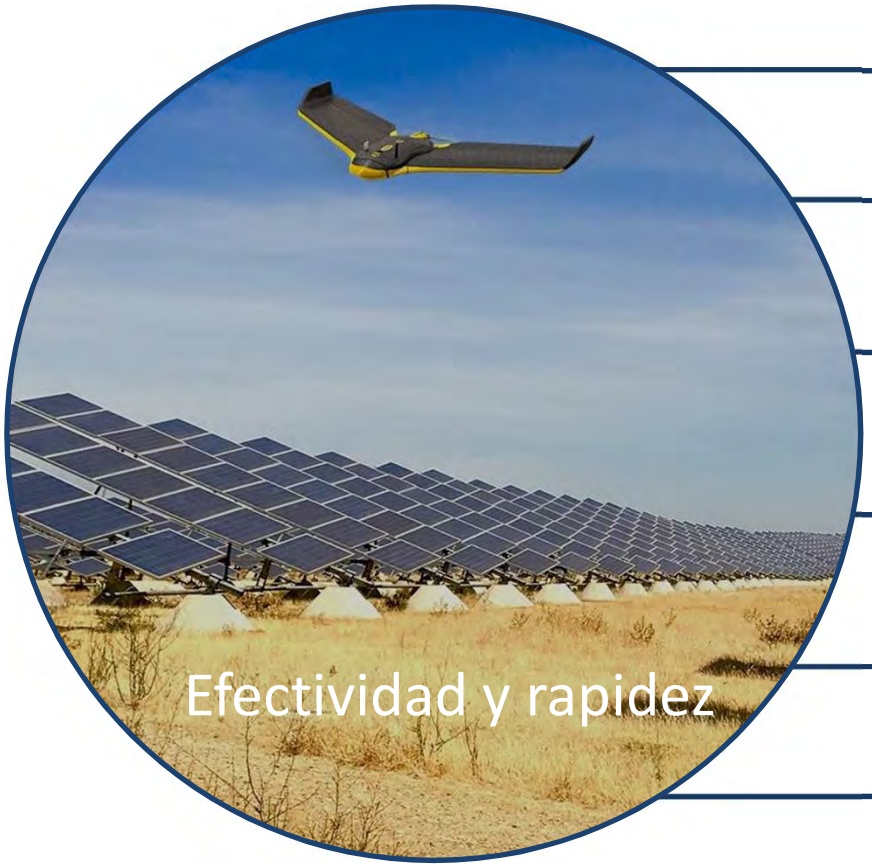
- String y módulos en los que aparece la incidencia.
- Descripción de la incidencia.
- Propuesta de acciones correctoras/preventivas.

# FASE EXPLOTACIÓN

| HOTSPOTS | DIODOS DE BY-PASS DEFECTUOSOS | FALLO DE STRINGS |
|---|---|---|
| Pérdida de potencia:<br>2-10% del módulo<br>  | Pérdida de potencia:<br>5-15% del String<br>  | Pérdida de potencia:<br>100% de los módulos<br> |

| SOMBRAS | FALLO DE MÓDULO | PID |
|---|---|---|
| Pérdida de potencia:<br>Depende en cada caso<br>  | Perdida de potencia:<br>100% del módulo<br>  | Perdida de potencia:<br>Más del 30% del módulo<br>  |

# VENTAJAS DEL USO DE DRONES




- No duplicidad de datos
- Acceso a zonas difíciles
- *Vuelos repetitivos y comparativa de datos*
- *Visualizador 3D*
- *Ahorro en tiempo y costes*
- *Seguridad operacional*

# CASOS DE ÉXITO - TALAVÁN

**Vuelo RPAS**

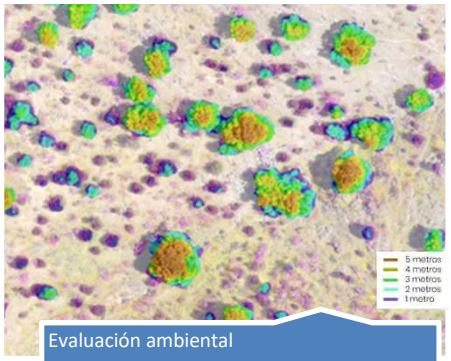
- 1500 Hectáreas
- eBee X RTK/PPK
- 15 vuelos

**Modelización 3D**

- Precisiones centimétricas
- Clasificación de la nube de puntos
- Modelos digitales del Terreno
- Ortofotos

**Estudio topográfico**

- Restitución cartográfica
- Curvas de nivel



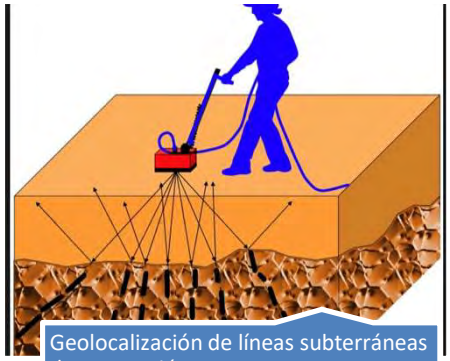

**Evaluación ambiental**

- Análisis de pendientes
- Detección y medición de arbolado
- Detección y medición de formaciones rocosas
- Detección de cauces

https://cloud.pix4d.com/pro/project/304263/map?shareToken=e89776ef-d1b8-4901-b45e-5165bacfada3

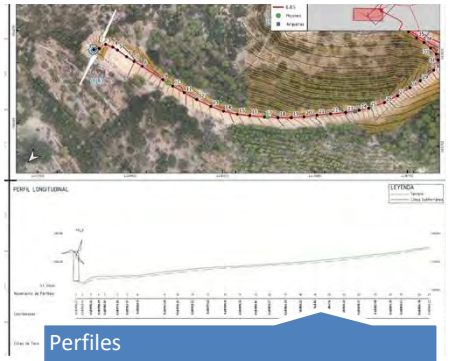
# CASOS DE ÉXITO - AEROS

**Vuelo RPAS**
- 280 Hectáreas
- eBee X RTK/PPK
- 6 vuelos



**Geolocalización de líneas subterráneas de evacuación**
- Precisiones centimétricas
- Georadar

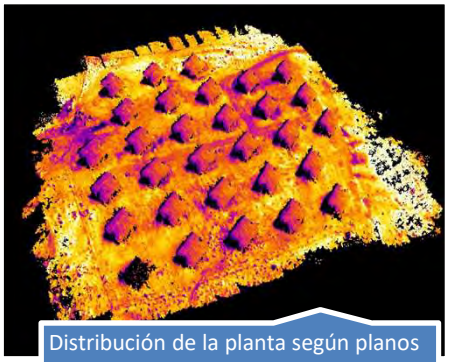
**Estudio topográfico**
- Restitución cartográfica
- Curvas de nivel
- Ortofotos



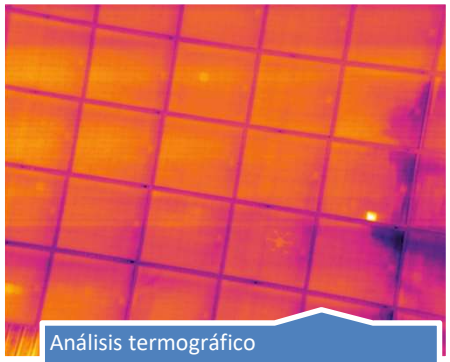
**Perfiles**
- Georreferenciación de la línea
- Profundidad y cota terreno
- Longitudinales cada 25 metros

# CASOS DE ÉXITO – INSPECCIÓN TÉRMICA

**Vuelo RPAS**
- 2 Hectáreas
- FV8
- 1 vuelo



**Distribución de la planta según planos**
- Color
- Strings
- Fila y columna



**Análisis termográfico**
- Restitución cartográfica
- Curvas de nivel
- Ortofotos

**Generación de informes**
- Georreferenciación de la línea
- Profundidad y cota terreno
- Longitudinales cada 25 metros

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

# Drones: Un futuro de Energías Renovables

**Autor de la comunicación: Angélica Bellver Climent**[1]

1 Chief Technology Officer. C/ Sant Joan de la Creu 7, 46009 Valencia (Valencia) angelica@idstopografia.com

**Resumen:** La creciente importancia de los recursos renovables ha llevado a los gobiernos y las empresas a invertir en energía eólica, solar y térmica. Como consecuencia de esto, ha aumentado exponencialmente la construcción de instalaciones eólicas y/o fotovoltaicas, así como el tamaño de las mismas.

Con este aumento se incrementa la necesidad de implementar nuevas tecnologías en el sector que contribuyan a abaratar costes y asegurar la evolución de las instalaciones, es por ello, que la inserción de los drones en los proyectos renovables ya es un hecho.

La gran extensión de los terrenos, la compleja orografía en la que muchas veces se ubican y la necesidad de gestionar un gran volumen de datos, hacen de los drones una herramienta indispensable para la correcta puesta en marcha de estas instalaciones y su mantenimiento a lo largo de los años.

El avance de la tecnología drone permite embarcar en ellos diferentes tipos de sensores, como el RGB para la obtención de la topografía de la zona y los estudios de impacto ambiental y térmicos para inspección de las instalaciones, redes eléctricas y módulos solares.

**Palabras clave:** drones, energías renovables, impacto ambiental, topografía, inspección térmica.

## 1. INTRODUCCIÓN

La propia naturaleza de los grandes proyectos energéticos implica que estos se ubiquen en extensas superficies de terreno, normalmente rústico y/o montañoso con difícil acceso. Además, la cartografía catastral actual no define bien los límites parcelarios. Por este motivo, las discrepancias entre propietarios y administraciones son algo habitual y retrasan la puesta en marcha de la ejecución de los proyectos.

El despliegue de personal en campo y la gran cantidad de empresas implicadas para la elaboración de todos los estudios necesarios para la redacción de un proyecto energético ralentizan su evolución, aumentando los costes y duplicando, en muchos de los casos, la información tomada.

El conocimiento del entorno, de los elementos que aparecen en él y la elevación de cada uno de ellos se hace primordial en este tipo de proyectos, por lo que es necesario realizar estudios topográficos y de evaluación ambiental precisos y de calidad que den respuestas a todas las cuestiones que se plantean a la hora de ejecutar una instalación de estas dimensiones.

Por otro lado, una vez en funcionamiento la instalación, las inspecciones periódicas ayudan a identificar posibles anomalías antes de que supongan un grave problema para la vida d ela instalación, y bajo un gran conjunto de datos obtenidos y su histórico, se puede prever el comportamiento de la misma con el paso del tiempo.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo de la presente propuesta es exponer como el uso de drones puede agilizar la puesta en marcha de grandes proyectos fotovoltaicos y/o eólicos, aumentando el margen de beneficio para promotores e incrementando el consumo de energía limpia en la sociedad actual y futura.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología de trabajo se divide en tres fases: análisis, ejecución y explotación.

2.1. Fase Análisis.
Esta primera fase es la más importante, ya que sobre ella se van a definir todas las actuaciones de la futura instalación. Por ello, es necesario disponer de toda la información base posible, empezando por los limites parcelarios de la instalación, lo cual, suele ser bastante complicado de definir.

2.1.1. Deslindes y estudios de propiedad:
Antes del inicio de cualquier actuación es necesario conocer con exactitud cuáles son los límites físicos de las parcelas destinadas a la instalación, esto suele resultar un arduo trabajo debido a que los límites no quedan perfectamente definidos y/o la cartografía catastral existente no se corresponde con la realidad.

En estos casos, se comprueba la cartografía catastral histórica con la superficie actual y los títulos de propiedad, y se definen los límites reales de las parcelas, llegando a un acuerdo entre propietarios en base a documentos métricos y resolviendo las discrepancias catastro-registro.

2.1.2. Estudio topográfico:
El uso de drones en grandes extensiones de terreno es perfecto para obtener información topográfica mucho más rápida y precisa que cuando se recurre a métodos tradicionales.

Es necesario contar con diferentes tipos de drones (multirrotor y Ala fija) y sensores que nos permitan adaptarnos a todo tipo de terrenos y extensiones.

También se elabora un visualizador 3D, disponible en la nube, que permite a nuestros clientes interaccionar con los datos.

Los productos generados, tales como ortofotos, modelos digitales del terreno, cartografía 3D de detalle y las nubes de puntos nos proporcionan toda la información tridimensional de la superficie sobrevolada, actuando en todo momento sobre el dato bruto y dándole uso durante todas las fases del proyecto.

2.1.3. Evaluación ambiental:
Todo proyecto energético requiere de una evaluación de impacto ambiental, ésta ayuda a tomar mejores decisiones a la hora de elegir el emplazamiento adecuado para la instalación y, por tanto, a evitar contratiempos en el futuro.

A partir de los productos obtenidos con el drone y los estudios de pendientes del topográfico generamos:
- Inventarios ambientales de especies vegetales, incluyendo la identificación de arbolado: especie, altura y diámetro de copa.
- Delimitación de vaguadas, zonas inundables, barrancs, desagües naturales y todo tipo de zonas de alto riesgo para la instalación.
- Análisis de cuencas visuales.
- Estudios de las medidas de integración paisajística del proyecto.

2.2. Fase Ejecución.

2.2.1. Replanteos.

El replanteo topográfico es una operación mediante la cual se marcan sobre el terreno los puntos o elementos definidos en el proyecto, así realizamos unas marcas sobre el terreno que indican toda la información contenida en los planos.

Con toda la información ya disponible y testeada desde el prinicipio este trabajo se hace mucho más ameno y rápido puesto que ya tenemos identificadas todas las zonas de difícil acceso con anterioridad.

2.2.2. Control y seguimiento de la obra.

Las obras, sobre todo las que cubren grandes superficies, requieren un seguimiento continuo que permitan su supervisión tanto con fotografía como con video. Lo cual resulta muy útil para ir comprobando en tiempo real los avances y el estado de la construcción, llevando así una cronografía de los adelantos obtenidos, permitiendo una útil comparación del progreso que va alcanzado el proyecto.

2.3. Fase explotación.

La inspección visual y termográfica con drones permite la verificación del estado de los paneles solares y los aerogeneradores de la instalación. Además supone un ahorro sustancial encostes y tiempo, ya que con un único vuelo planificado se obtiene información que con los métodos tradicionales requiere un gran esfuerzo humano.

<u>Proyectos fotovoltaicos:</u>

- Análisis inicial del huerto solar. Identificación precisa de strings y módulos de forma individual.
- Planificación del vuelo en base a la información de la planta.
- Toma de termografías con RPAS.
- Identificación de anomalías y análisis de causas.
- Generación de informes:
  - String y módulos en los que aparece la incidencia.
  - Descripción de la incidencia.
  - Propuesta de acciones correctoras / preventivas.

El uso de cámaras termográficas embarcadas en drones nos permite disponer de toda la información de la planta solar en un tiempo récord. Además, la implementación de técnicas de Machine Learning en los procesos posibilita la detección automática de las diferentes tipologías de fallo.

**Figura 1.** *Diferentes tipologías de fallo en módulos solares*

Proyectos eólicos:

- Inspección de las palas de los aerogeneredaores.
- Ahorro en tiempos y aumento de la seguridad operacional.
- Control en tiempo real del funcionamiento de la instalación.
- Detección de fallos y/o anomalías.
- Topográfico para actuaciones futuras.

## 2. CASOS DE ÉXITO

2.1. TALASOL: Levantamiento RPAS y Análisis ambiental de parcelas

2.1.1. Objeto

El objeto de este trabajo era el levantamiento con drone de la parcela 14 del polígono 1 y la parcela 15 del polígono 1, situadas en Talaván, municipio de la provincia de Cáceres (Extremadura), restitución cartográfica de ambas y análisis ambiental de la capacidad de los terrenos para albergar seguidores solares fotovoltaicos a un eje.

2.1.2. Ubicación

**Tabla I.** *Parcelas catastrales de estudio*

| | |
|---|---|
| **PARCELA CATASTRAL 10057A01500001** | **Parcele construida sin división horizontal** |
| | Polígono 15 Parcela 1 |
| | Camacho, Talavan (Cáceres) |
| | |
| **PARCELA CATASTRAL 10181A01400001** | Parcela, a efectos catastrales, con inmuebles de distinta clase (urbano y rústico) |
| | LG Camacho Polígono 14 Parcela 1 001600100QD39A |
| | Camacho, Talaván (Cáceres) |

2.1.3. Metodología

2.1.3.1. Estudio previo de la zona.

A partir de la capa de delimitación de las parcelas, cargamos los datos en Google Earth para visualizar la superficie y los cambios de pendiente existentes en la zona.

Se determinan 15 vuelos a una altura de 120m obteniendo una resolución entre 2.9 cm/pixel con el solape necesario para garantizar el recubrimiento en todas las áreas dentro de la delimitación establecida.

2.1.3.2. Toma de datos en Campo.

Para la toma de fotografías se ha utilizado un equipo profesional de vuelo, el Drone Ebee Plus de la empresa Sensefly.

**Figura 2.** *Drone eBee X RTK/PPK*

**Tabla II.** ***Características técnicas eBee X.***

| **HARDWARE** | |
|---|---|
| Envergadura | 110 cm |
| Peso | 1,1 kg. |
| Propulsión | Hélice propulsora eléctrica, motor sin escobillas |
| Sensor | Sensefly S.O.D.A. |
| **SOFTWARE** | |
| Planificación y control de vuelo | eMotion3 |
| Procesamiento de imágenes | Pix4Dmapper Pro |
| **Sensefly S.O.D.A.** | |
| Tipo de sensor | RGB (20 megapíxel) |
| Resolución del terreno (120 m.) | 2.9 cm/píxel |

Se ha utilizado la funcionalidad RTK/PPK del sistema, obteniendo correcciones de posicionamiento del dron en tiempo real y obteniendo unas precisiones de 2-3 centímetros sin necesidad de ubicación de puntos de apoyo.

No obstante, se han distribuido 105 dianas por la zona de vuelo y se ha tomado su posición con GPS Leica Viva GS14 para asegurar y mejorar estos resultados.

**Figura 3.** *GPS Leica Viva*

2.1.3.3. Procesado de datos en gabinete.

2.1.3.3.1. Procesado y ajuste de imágenes en Pix4d.

Se han obtenido un total de 11515 imágenes correspondientes a las dos parcelas de estudio, distribuidas en 15 vuelos, los cuales se han procesado por separado con el software Pix4Dmapper Pro.

Se ha fijado un valor de modelo de geoide de 54.130001 sobre el elipsoide de referencia, este valor corresponde al modelo de geoide egm08_rednap para la zona de las parcelas (calculado a partir de la red del IGN). Y el Sistema de Referencia se ha fijado en ETRS89 UTM Zona 29N para los datos de salida.

A partir de las imágenes introducidas hemos obtenido un primer ajuste con una nube de puntos clave, dónde hemos añadido el .txt con nuestros puntos de apoyo (correspondientes a las dianas). Hemos comprobado como efectivamente las precisiones de las cámaras rondaban los 2-3 centímetros y hemos reoptimizado el modelo ajustándolo a nuestros puntos, garantizando la mejor precisión.

Los resultados para cada uno de los vuelos ha sido el siguiente:

**Tabla III.** *Precisiones absolutas de los GCP.*

| VUELOS | Nº IMAGENES | RESOLUCIÓN | HECTÁREAS | PRECISIÓN MEDIA (X, Y, Z) |
|---|---|---|---|---|
| **Zona_1** | 1245 | 3.11 | 222.0064 | 0.014 m |
| **Zona_2** | 1036 | 3.05 | 184.0113 | 0.013 m |
| **Zona_3** | 985 | 3.05 | 176.2455 | 0.021 m |
| **Zona_4** | 875 | 3.16 | 156.0332 | 0.024 m |
| **Zona_5** | 1053 | 3.01 | 189.6717 | 0.013 m |
| **Zona_6A** | 249 | 3.01 | 52.2765 | 0.017 m |
| **Zona_6** | 488 | 3.08 | 94.8289 | 0.017 m |
| **Zona_7** | 781 | 2.96 | 136.2946 | 0.032 m |
| **Zona_8** | 654 | 2.95 | 118.1054 | 0.022 m |
| **Zona_9** | 799 | 2.92 | 138.9266 | 0.029 m |
| **Zona_10** | 687 | 2.94 | 123.6431 | 0.023 m |
| **Zona_11** | 656 | 2.93 | 116.8479 | 0.019 m |
| **Zona_12** | 687 | 3.04 | 128.7043 | 0.025 m |
| **Zona_13** | 676 | 3.11 | 124.2993 | 0.022 m |
| **Zona_14** | 644 | 3.00 | 118.3442 | 0.019 m |

Este valor de precisión corresponde al valor medio de la precisión obtenida en los puntos de apoyo (dianas) para X, Y, Z con su correspondiente error de reproyección de píxel, es decir, equivale a la precisión con la que se ha ajustado el modelo al terreno real, sabiendo que siempre el error de Z es ligeramente más alto que en X e Y.

2.1.3.3.2. Clasificación de puntos.
Una vez ajustadas las imágenes y nuestro modelo, hemos generado la nube densa de puntos a partir de la cual ya podemos empezar a trabajar. Esta nube de puntos recoge toda la información tridimensional de la superficie volada, por tanto es necesario realizar una clasificación de puntos:

- Puntos terreno.
- Superficie de carretera/camino.
- Vegetación alta.
- Edificios.
- Cosas hechas por el hombre.

Dicha clasificación se ha realizado en primer lugar de forma automática, siguiendo unos patrones de comportamiento. Posteriormente se ha revisado y modificado de forma manual en el propio software.
Se han eliminado los puntos correspondientes a agua, ya que estos distorsionan el modelo y también se han eliminado aquellos correspondientes a ciertos animales como vacas y ovejas presentes en el terreno y que no nos interesan.

El resultado es el siguiente:

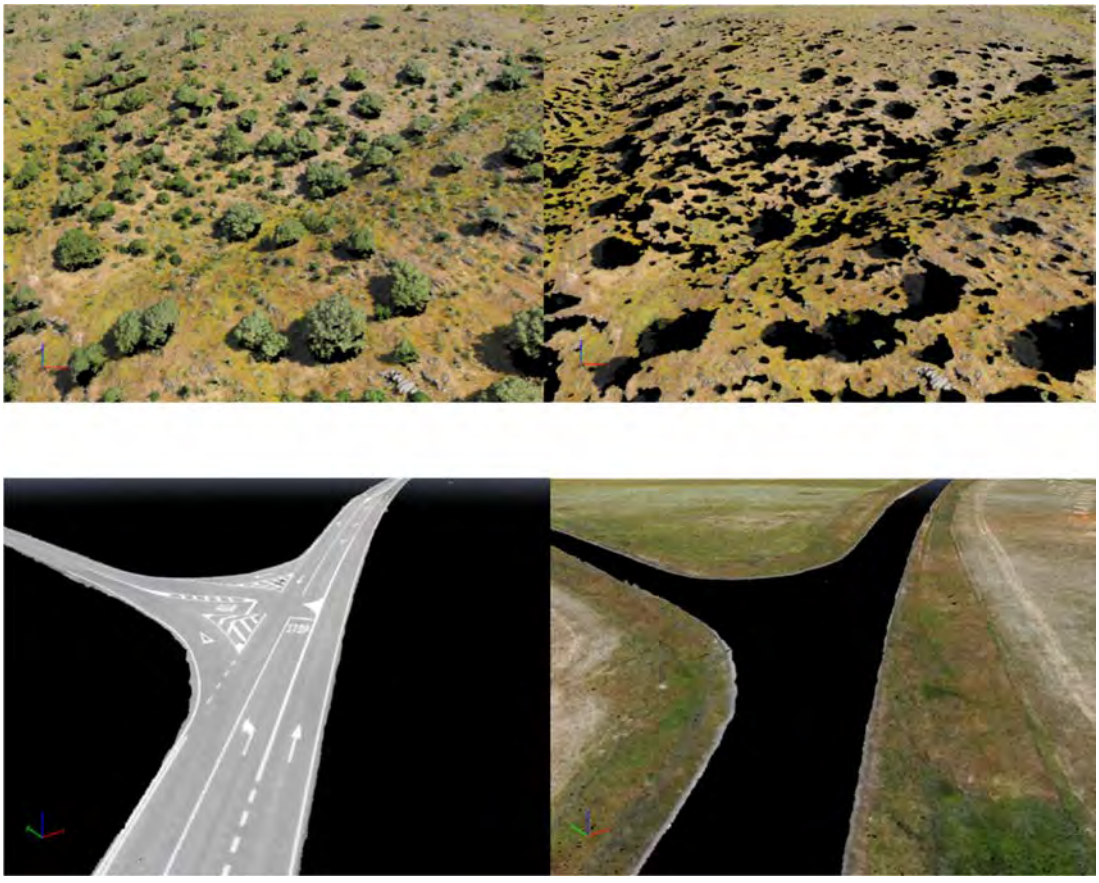


**Figura 3.** *Clasificación nubes de puntos*

2.1.3.3.3. Modelos Digitales del Terreno.
Una vez realizada la clasificación correctamente generamos el Modelo Digital de Superficies, el cual tiene en cuenta los 5 grupos de clasificación, y el Modelo Digital del Terreno, que solo considera aquellos puntos correspondientes a terreno y a carretera. Por tanto, las rocas han sido clasificadas como terreno, para no perder esta información.

**Tabla IV.** *Resoluciones Modelos Digital de Superficies y Modelo Digital del Terreno.*

| | RESOLUCIÓN |
|---|---|
| **MODELO DIGITAL SUPERFICIES** | Aprox. 3 centímetros |
| **MODELO DIGITAL TERRENO** | Aprox. 15 centímetros |

Para la obtención de la topografía nos interesa el Modelo del Terreno, pero lo tenemos dividido en 15 partes y queremos uno para cada una de las parcelas.

Para realizar esta unión de forma correcta y evitar distorsiones en la zona de solape de vuelos utilizamos el software ArcGis. Restamos cada modelo con su contiguo y clasificamos el resultado en función de sus diferencias. Damos por buenas las zonas que no difieren más de 2 centímetros unas con otras y creamos un shape de recorte con esta delimitación.

Una vez recortada la zona "aceptada" de cada MDT, lo unimos en su totalidad para obtener el MDT de cada una de las parcelas.

Comprobamos como efectivamente las zonas de solape quedan bien unidas y remuestreamos el raster, es decir, cambiamos el tamaño del píxel a 5 metros. Teniendo por tanto el Modelo Digital del Terreno con dos resoluciones 15 centímetros y 5 metros.

2.1.3.3.4. Curvas de nivel.
A partir del raster de 15 cm de resolución generamos las curvas de nivel cada 0.5 metros como se ha solicitado.

Al generar dichas curvas sobre un MDT con una resolución tan alta, estas presentan ciertos picos bastante incómodos a la hora de trabajar, por lo que es necesario realizar un suavizado de las curvas evitando estas situaciones:

El resultado de las curvas sería el siguiente:

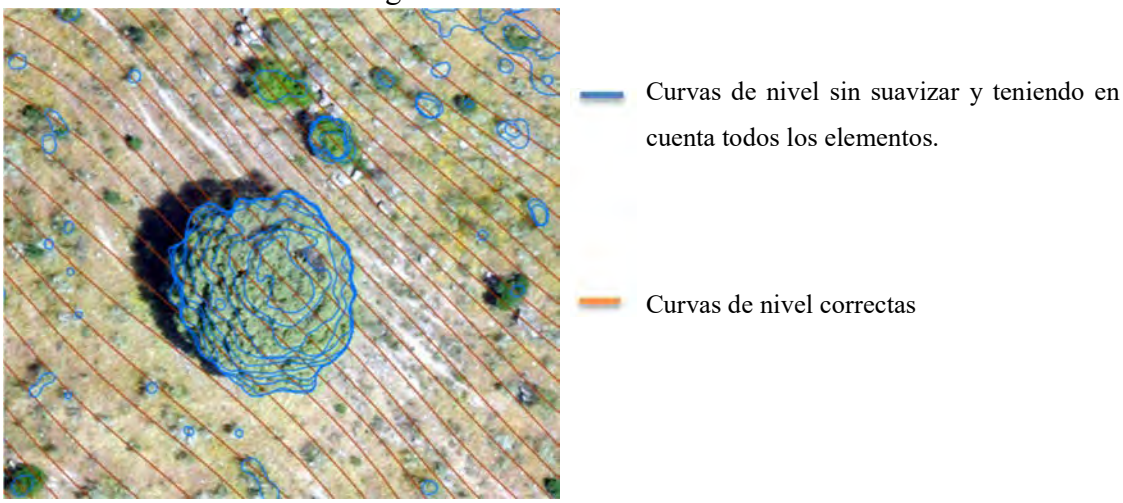



***Figura 4.*** *Curvas de nivel.*

Con el curvado ya correcto con 0.5 metros de intervalo, seleccionamos mediante código phyton las curvas directoras cada 5 metros y creamos una nueva capa con estas.

Posteriormente, también a partir del modelo digital del terreno hemos generado una malla de puntos cada 10 metros.

2.1.3.3.5. Restitución cartográfica.
La generación de cartografía la hacemos restituyendo directamente sobre las fotografías corregidas radiométrica y geométricamente. Se realiza de esta manera para evitar el error de reproyección del píxel. Digitalizamos todos y cada uno de los elementos que aparecen en la zona.

2.1.3.3.6. Vaguadas.
Las vaguadas las obtenemos realizando un análisis de acumulaciones de agua según el Modelo Digital del Terreno. Primero obtenemos las direcciones de las pendientes y la cantidad acumulada, estableciendo un umbral de 400 para poder considerar una zona como vaguada. Obtenemos entonces un raster de las zonas y lo convertimos  capa de líneas, obteniendo la capa Stream.

2.1.3.3.7. Arbolado.
Para la capa de árboles hemos empleado otra técnica y es realizar una resta entre el Modelo Digital de Superficies y el Modelo Digital del Terreno, de este modo obtenemos una capa de este estilo:

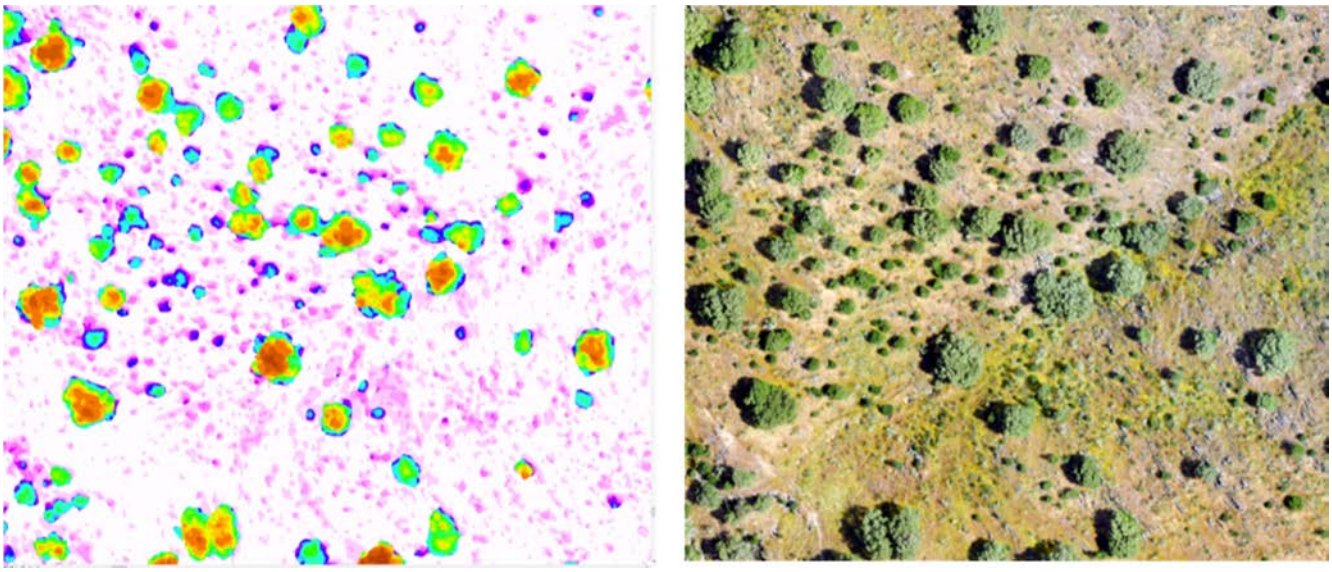


**Figura 5.** *MDS y arbolado.*

Superponiendo las capas podemos distinguir perfectamente que son árboles, pequeños arbustos o que es terreno.

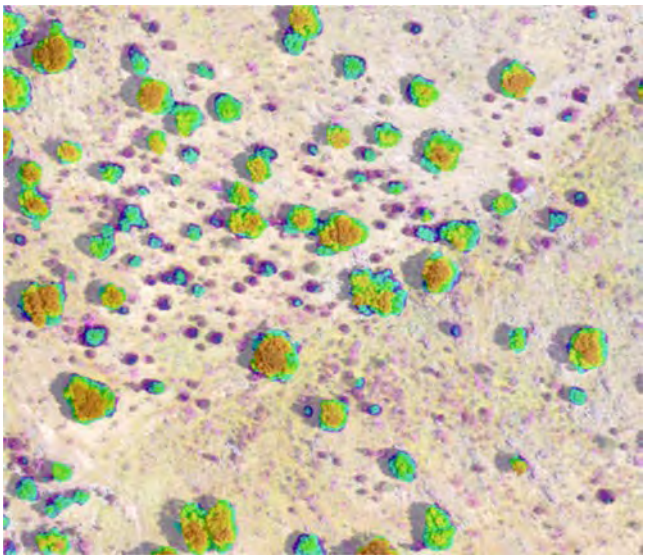


**Figura 6.** *Superposición árboles.*

La capa de puntos generada se ha ido corrigiendo visualmente con las ortofotos para asegurar algún árbol que, por su tamaño, no quedaba muy claro.
A esta capa, además, se le han añadido tres campos: cota_terreno, cota_copa y la altura del árbol. Puede ser que al fijarnos en la capa de árboles sobre la ortofoto, el punto no corresponda exactamente con el centro del árbol, esto es debido a que se ha buscado la ubicación del punto con respecto al punto más alto del mismo y no con respecto a su centro.

2.1.4. Análisis ambiental de capacidad de los terrenos.
A partir de la información recabada en los vuelos se ha procedido a analizar toda la información resultante, con la finalidad de determinar aquellos terrenos más aptos para la implantación de seguidores solares a un eje.

Para ello se han desarrollado 3 análisis principales:
- Análisis de pendientes Norte-Sur y Este-Oeste
- Detección y medición de arbolado
- Detección y medición de formaciones rocosas
- Detección de cauces

2.1.4.1. Análisis de pendientes Norte-Sur y Este-Oeste.
Los seguidores solares a un eje se suelen instalar principalmente de manera que su eje longitudinal (sobre el que los paneles rotan) se sitúa en dirección Norte-Sur.

Este tipo de seguidor solar presenta una limitación de pendiente máxima a lo largo de su eje de rotación, que suele situarse alrededor de los 15% (a partir de dicho valor de la pendiente no se garantiza su funcionamiento).

Por otra parte, existe otra limitación en cuanto a las pendientes del terreno en sentido Norte-Sur, ya que no se recomienda la instalación de seguidores solares en terrenos con orientación norte y pendiente N-S superior al 8%, debido a un descenso en el rendimiento eléctrico del seguidor durante su explotación (menor radiación captada).

Por tanto, en aquellos proyectos en que se pretende minimizar el movimiento de tierras (o bien se tienen que desarrollar sin movimiento de tierras), es muy importante detectar que zonas de exclusión presentan las parcelas en relación con las pendientes en sentido Norte – Sur.

Otra limitación para la ubicación de los seguidores solares a un eje es la de las pendientes en dirección Este-Oeste, debido a pérdidas por sombreamiento entre filas. Se suele fijar una pendiente máxima de un 10% para las pendientes en este sentido. Por la distancia entre filas particular de este proyecto se ha limitado el valor de estas pendientes en dirección Este-Oeste a un 13%.

En el presente caso se ha realizado un análisis de las pendientes norte-sur de las parcelas mediante el complemento “Directional Slope” del software QGIS (versión 2.18.20.).

A partir del raster de resultado se han calculado las zonas de exclusión para la ubicación de seguidores a un eje con las siguientes restricciones:
- Orientación Sur y pendiente N-S igual o superior a 15%
- Orientación Norte y pendiente N-S igual o superior al 8%
- Pendiente E-W igual o superior a 13%

2.1.4.2. Detección y medición del arbolado.
Se ha utilizado la capa de vegetación generada y expuesta en puntos anteriores para identificar y medir la altura de copa de cada uno de los ejemplares arbóreos existentes en las parcelas.

Para ello se han medido las diferencias de altura entre la capa correspondiente con la vegetación (cotas obtenidas directamente de los vuelos) y valor promedio de las cotas del terreno circundante a cada árbol.

Por otra parte, mediante el análisis de las fotografías de precisión resultantes de los vuelos y un análisis comparativo con datos tomados a pie de campo se han identificado las especies vegetales de cada árbol detectado.

Estos datos se han extrapolado mediante mapas de densidad de volumen de materia vegetal (densidad de altura de copa y ejemplares por metro cuadrado), estableciendo las zonas menos aptas para albergar seguidores solares por un criterio de minimización de la afección a ejemplares de acebuche.

2.1.4.3. Detección y medición de formaciones rocosas.
De manera análoga a la capa de vegetación generada y expuesta en puntos anteriores, se ha procedido a definir una capa de formaciones rocosas para identificar y medir la altura de una serie de formaciones rocosas verticales y muy puntuales existentes en las parcelas, sobre las cuales se pretende minimizar su afección.

Para ello se han medido las diferencias de altura entre la capa correspondiente con el MDT obtenido de la restitución con una resolución de 15x15 cm con el MDT del PNOA con paso de malla de 5x5 metros.

Estos datos se han extrapolado mediante mapas de densidad de volumen de formaciones rocosas, estableciendo las zonas menos aptas para albergar seguidores solares por un criterio de minimización de la afección dichas formaciones.

2.1.4.4. Detección de cauces.
A partir de la topografía obtenida en los vuelos se ha podido identificar los cauces existentes en la parcela mediante el uso del complemento “Waterdrop” del software QGIS (versión 2.18.20.).

Esta red hidrográfica interior se ha tenido en cuenta también a la hora de definir zonas más o menos aptas de las parcelas para la ubicación de los seguidores solares.

2.2. Aerogeneradores: detección de línea de evacuación
2.2.1. Objeto
La finalidad del trabajo era obtener la posición precisa de la línea de evacuación que conectaba el parque eólico, con más de 30 kilómetros de longitud.

2.2.2. Metodología
2.2.2.1. Detección línea de evacuación subterránea.
Se partían de unos planos erróneos por lo que la detección se tuvo que realizar mediante georradar, siguiendo la dirección de la línea subterránea, prestando especial atención al cruce entre líneas.

2.2.2.2. Vuelo RPAS.
Posteriormente se voló toda la zona con el equipo eBee X RTK/PPK obteniendo el topográfico de toda la zona y la nube de puntos 3D.

2.2.2.3. Profundidad de la línea.
Con el topográfico estábamos en disposición de las cotas terreno con una precsión de +/- 2 centímetros, y con el georradar la profundidad a la que se encontraba la línea en cada uno de los puntos a lo largo de su recorrido.

2.2.2.4. Perfiles y mapas.
Se georreferenció perfectamente la línea con el terreno existente obteniendo los perfiles longitudinales cada 25 metros a lo largo de toda la línea.

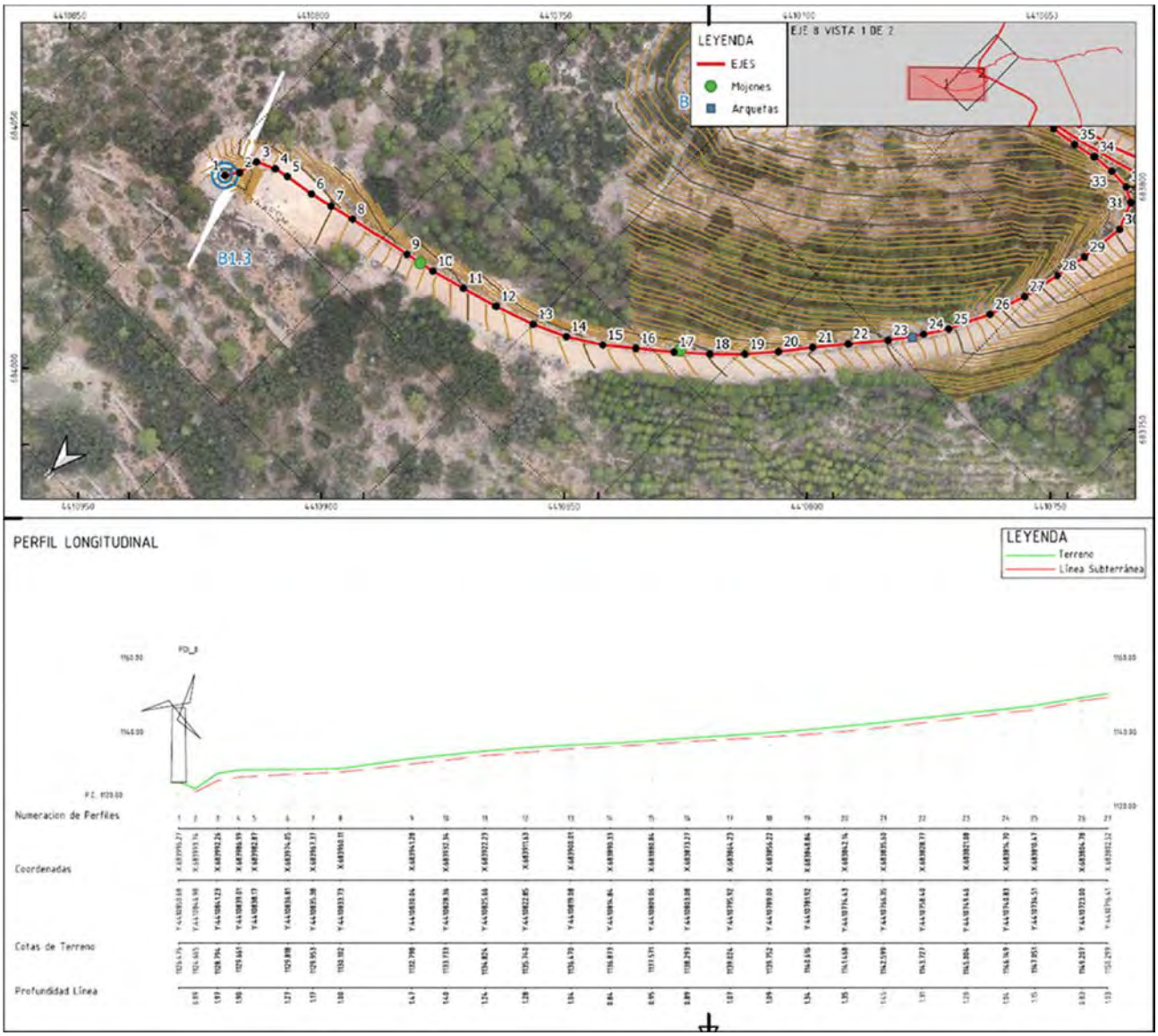



**Figura 7.** *Perfil aerogeneradores.*

## 2.3. Análisis termográfico Vergel

### 2.3.1. Objeto

El objeto de este proyecto es plasmar los resultados del análisis termográfico realizado en una instalación solar sobre cubierta situada en Vergel, con el fin de determinar la posible existencia de puntos calientes y fallos en las placas que estén reduciendo, o puedan reducir, el rendimiento de la instalación. Así mismo, se expondrán indicaciones a tener en cuenta.

### 2.3.2. Equipo para el análisis

Para realizar los estudios se ha utilizado la cámara termográfica Workswell Wiris 640 2dn gen, cuyas especificaciones son las siguientes:

Sensor térmico:

- Resolución: 640 * 512 píxeles.
- Rango de temperaturas: -25ºC a + 150ºC.
- Sensibilidad térmica: 0.05ºC (50mk)
- Precisión: ± 2ºC.
- Rango espectral: 7.5 – 13.5 µm.
- Tipo de detector: Microbolómetro no refrigerado VOx.

Cámara digital:

- Resolución: 1600 * 1200 píxeles.
- Enfoque: Fijo.

### 2.3.3. Criterios seguidos

Para el análisis, se ha definido una metodología propia para obtener los puntos de fallos y poder clasificarlos según la gravedad. En este caso, debido a la orientación del vuelo (transversal a la hilera de placas), una misma placa presentará diferente stemperaturas en diferentes imágenes debido a la distancia de la placa a la cámara. Para corregir esto, se ha hecho análisis de la hilera de placas en varios segmentos o ROIs (Regiones de interés) para disminuir el efecto de la distancia en la temperatura de la región.

En cuanto al criterio de gravedad de los fallos, se calcula la media de cada región y se aplican una serie de intervalos cada dos grados centígrados.

Es importante señalar que el uso de la temperatura media del ROI viene dada por la temperatura mínima y máxima, pero también de la densidad de temperaturas para ese ROI, con lo que una zona caliente tendrá mayor temperatura media que otra región similar más fría, es por esto por lo que para comparar ambas regiones usamos los intervalos frente a la temperatura media de cada región.

**Tabla V.** *Clasificación por rangos de temperatura.*

| NIVEL | Diferencia de temperatura $\Delta T = T_{cal} - T_{med}$ | Clasificación | Acción |
|---|---|---|---|
| 1 | 2ºC < ΔT < 4ºC | Probable deficiencia | Se requiere más información / Reparar en la próxima revisión |
| 2 | 4ºC < ΔT < 6ºC | Deficiencia | Reparar tan pronto como sea posible |
| 3 | ΔT > 6ºC | Deficiencia grave | Reparar inmediatamente |

2.3.4. Descripción de los datos presentados

Para el análisis de las imágenes, se ha hecho una división de la planta por zonas.

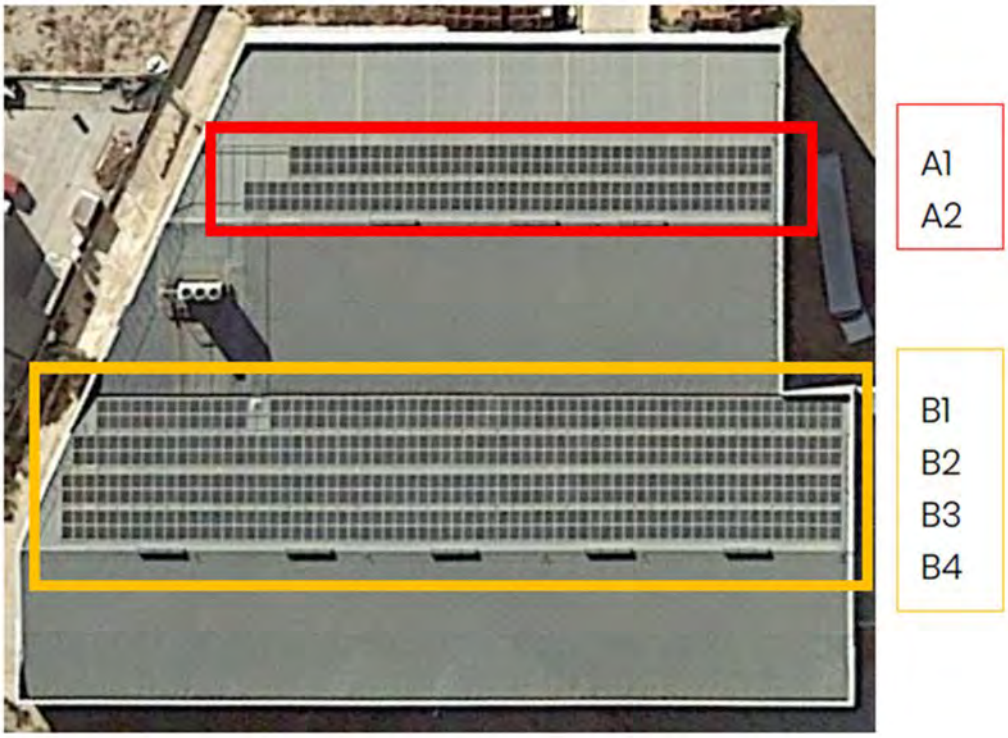



**Figura 8.** *Clasificación zonas.*

2.3.5. Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos:

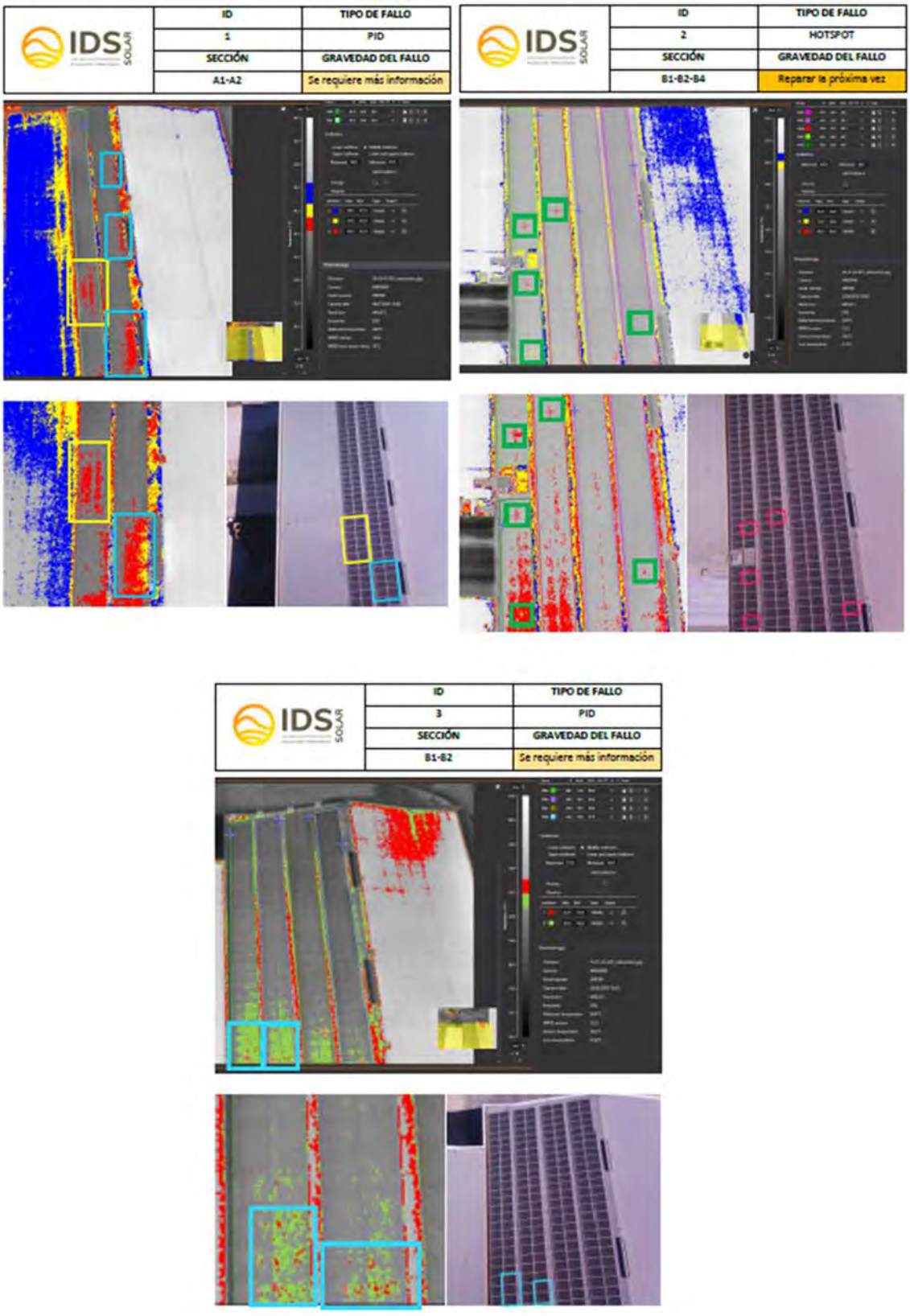



**Figura 9.** *Representación anomalías.*

Tras este análisis termográfico se indican los fallos localizados, así como sus posibles causas e indicaciones a seguir.

En ID 1, se observa una degradación potencial inducida (PID) en varias de las placas. Este proceso suele ocurrir tan solos unos cuantos años después de la instalación y causa una degradación acelerada en el rendimiento que se expande exponencialmente, ya que cualquier fallo en una placa o celda, afecta de forma negativa también a las contiguas.

El PID es causado por una alta diferencia de potencial respecto a tierra. Esto ocurre dentro de los paneles cuando un sistema fotovoltaico está en funcionamiento o cuando se exponen a las células a exposiciones de potencial negativo (cuando existe sombreado parcial). Este tipo de problemas también puede ocurrir debido al material, es decir, la composición química del cristal y el EVA donde están encapsuladas las células, la configuración del sistema fotovoltaico o incluso factores externos como la temperatura y la humedad.

En este caso, como se puede observar en la imagen, y debido a la distribución de las placas, el causante de que esto ocurra podría ser los salientes que están a la derecha de las placas y que pueden producir sombras en algunos momentos del día. Se llega a esta conclusión debido a que este patrón de fallo solo ocurre en las placas al lado de estos salientes y durante una longitud similar, aunque es probable que se extienda con el tiempo.

En cuanto a las placas afectadas en la sección A1, su causa podría estar originada debido a fallos de potencial.

Se recomienda tomar datos eléctricos de las placas señaladas y buscar solución al problema de sombras.

Este mismo problema ocurre también en ID 3, siendo este caso menos desarrollado, por lo que se mantienen las mismas recomendaciones.

Finalmente, el análisis de ID 2, el más preocupante ya que se localizan puntos calientes en varias placas con diferencias de temperaturas mayores a 4ºC. En este caso se recomienda realizar un análisis más exhaustivo de estas y plantearse la sustitución, ya que además, empieza a afectar a las celdas que las rodean.

## 3. CONCLUSIONES

Comparativa levantamiento drone – topografía clásica

Una de las mayores ventajas de trabajar con tecnología drone respecto de la topografía clásica es la gran cantidad de datos de los que disponemos y podemos hacer uso de ellos.

A partir de las imágenes de la zona, hemos generado una inmensa nube de puntos (más de mil millones), esto no es que sea inviable por topografía clásica, es que es imposible.

Con una densidad de aproximadamente 100 puntos/m^2, obtenemos una superficie o TIN, con la que tenemos toda la información del terreno. Teniendo en cuenta la densidad de puntos, podemos asegurar que la superficie creada se adapta perfectamente al terreno real puesto que la distancia entre putos es mínima y no es necesaria una interpolación de puntos como si ocurre cuando el levantamiento lo realizamos por clásica.

Para proyectos de grandes dimensiones y dónde el conocimiento del terreno en su totalidad es tan importante, se hace imprescindible el uso de drones que nos aporten de toda esta información.

Ahora disponemos de un Modelo del terreno con información cada 15 centímetros y de una cartografía que se adapta perfectamente a él, pero mañana puede que necesitemos contar las piedras de una zona concreta y para ello no será necesario volver a campo, sino que se dispone de esta información para poder hacer uso de ella en cualquier momento. Así como corregir, añadir o comparar la información con el paso del tiempo, por ejemplo, durante la ejecución de las obras.

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

| | |
|---|---|
| 9:45 - 11:30 | **SESIÓN 4 PLENARIA. ALMACENAMIENTO Y FOTOVOLTAICA**<br>Modera: D. Piet Holtrop. **Holtrop S.L.P. Transaction & Business Law**<br>"Gestión inteligente de almacenamiento en redes eléctricas de distribución". **Xavier Benavides Rel.** Chief Technology Officer. **AMPERE ENERGY**<br>"Drones, un futuro de Energías Renovables". **Angélica Bellver Climent.** Chief Technology Officer. **EMIN DRONE SYSTEMS**<br>"El futuro de la fotovoltaica: seguimiento bifacial". **Miguel Pozuelo Monfort.** Sales Manager Europe. **SOLTEC** |
| | **Café / Networking** |
| 11:30 - 12:00 | **Continuación SESIÓN 4 PLENARIA** |
| 12:00 - 12:15 | "Contratos Tipo PPA" **Jaime Jaquotot Núñez. JOTA QUATTRO ADVISORS S.L.** |

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# EL FUTURO DE LA FOTOVOLTAICA: SEGUIMIENTO BIFACIAL

Miguel Pozuelo Monfort

Soltec

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice


1 BiTEC: Bifacial Trackers Evaluation Center

2 Ganancia bifacial

3 Parámetros bifaciales

4 BiTEC: Comparando la energía producida

## BiTEC

**‘Bifacial Trackers Evaluation Center ’ es la planta experimental de Soltec para medir cuál es el impacto en la producción bifacial teniendo en cuenta factores como la altura de instalación, el albedo, la temperatura de los módulos o la distancia entre filas.**

**Objetivos del estudio:**

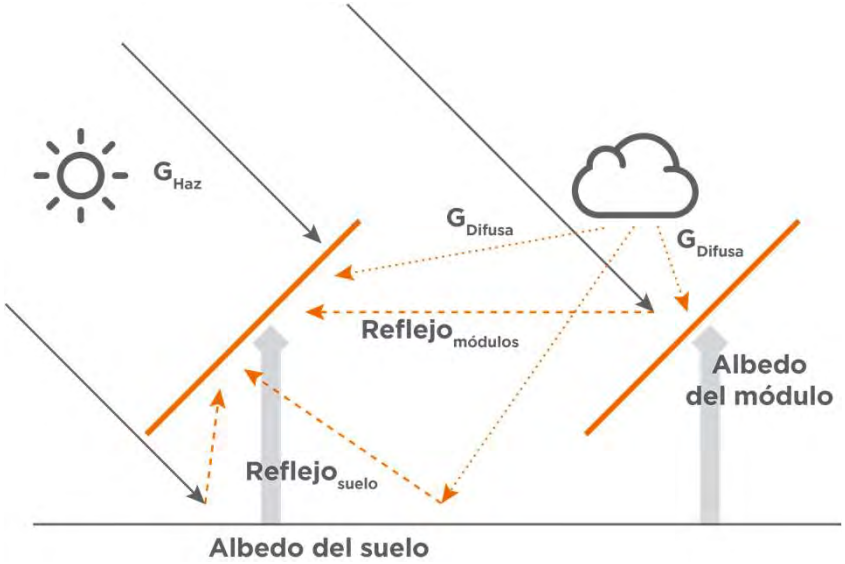
1. **Criterios de diseño**
   - Altura Óptima
   - Diferente color y textura de fondo
   - Distancia entre hincas
   - Configuración
2. **Rendimiento Energético**= f( G, h, Pitch, color del suelo)
3. **Optimización de los algoritmos de seguimiento para bifacial**

**Variables:**

- Medición del albedo en diferentes suelos
- Medición de diferentes GCR
- Medición en diferentes alturas
- Medición en condiciones naturales
- Pérdidas por interferencias a la sombra
- Impacto de la temperatura en el módulo
- TeamTrack® Backtracking

# Ganancia bifacial

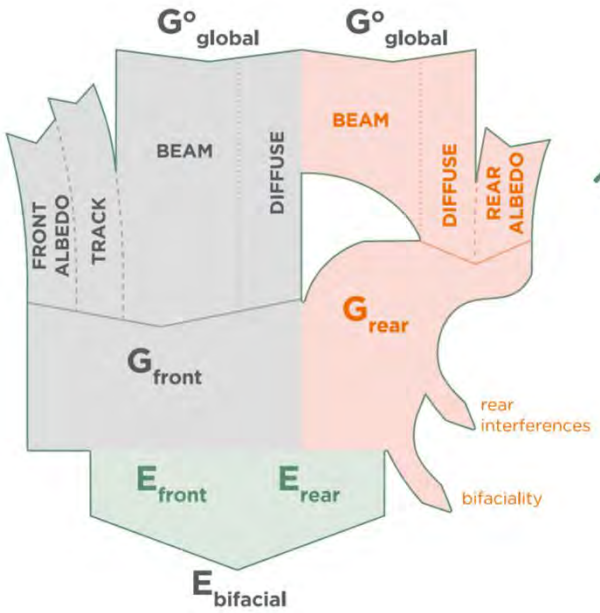
$$E_{bifacial} = E_{monofacial} \times (1 + \overbrace{Ratio\ bifacial \times bifacialidad}^{\text{Ganancia bifacial}})$$




**Ratio Bifacial:**
Relación de la radiación que alcanza la parte trasera de un modulo ($G_{rear}$) y la radiación que llega a la delantera ($G_{front}$).

**Bifacialidad:**
Relación entre las eficiencias de conversión de las partes frontal y trasera del módulo.

# Ganancia bifacial




**Optimizando la potencia generada por la cara trasera: Seguidores bifaciales**

↑ **Ganancia Bifacial**

- ↑ Bifacialidad — Carac. módulo FV
- ↑ $G_{trasera}$
  - ↑ $G_{difusa}$
  - ↑ $G_{reflejada}$
- ↑ Albedo — Carac. suelo
- ↑ Pitch — Carac. distribución
- ↑ Altura
- ↓ Sombra trasera

Carac. bastidor

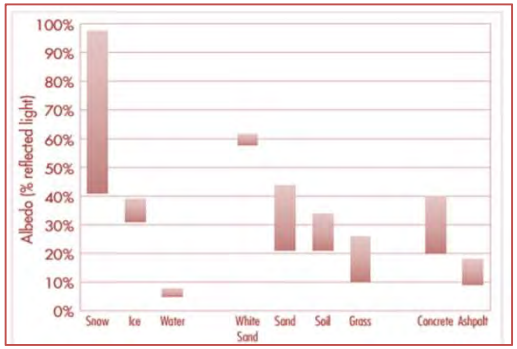
| Albedo | Ratio bifacial | Bifacialidad del módulo (p.u.) | Ganancia bifacial (estimación, %) |
|---|---|---|---|
| 19% | 10% | 0,75 | 7,5 |
| | | 0,80 | 8,0 |
| | | 0,85 | 8,5 |
| 63% | 24% | 0,75 | 18,0 |
| | | 0,80 | 19,2 |
| | | 0,85 | 20,4 |

# Parámetros bifaciales

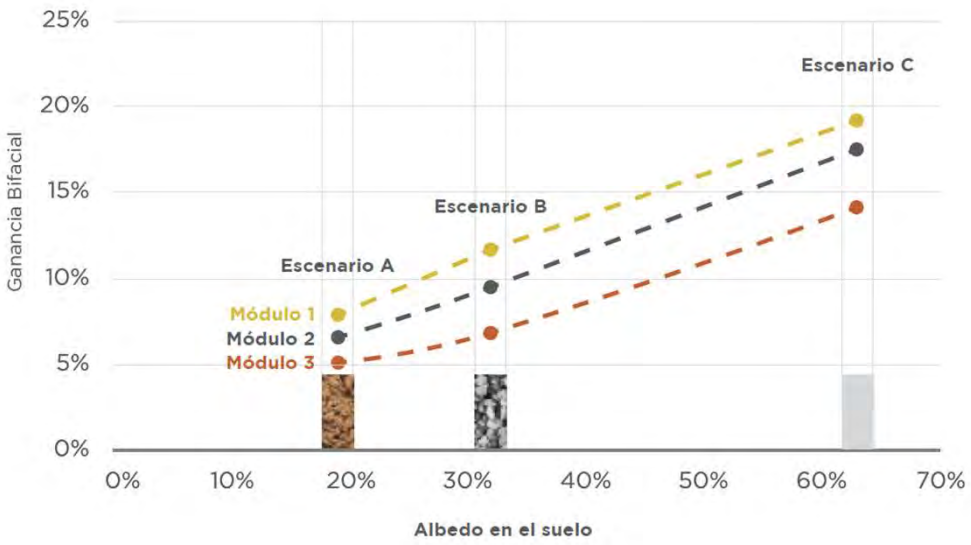
## Albedo

El albedo varía según el **color y las características de la superficie** que refleja la luz en la parte trasera del módulo. **Las superficies lisas de color claro presentan altos albedos** que generan más energía.

| Tipos de suelo | Albedo (%) | Ganancia Bifacial (%) |
|---|---|---|
| **Escenario A: Estacional** | 19 | 7.9 |
| **Escenario B: Grava** | 32 | 11.9 |
| **Escenario C: Blanco** | 63 | 19.2 |
| **Interpolación** | 38 | 13.3 |




**Source: NREL**

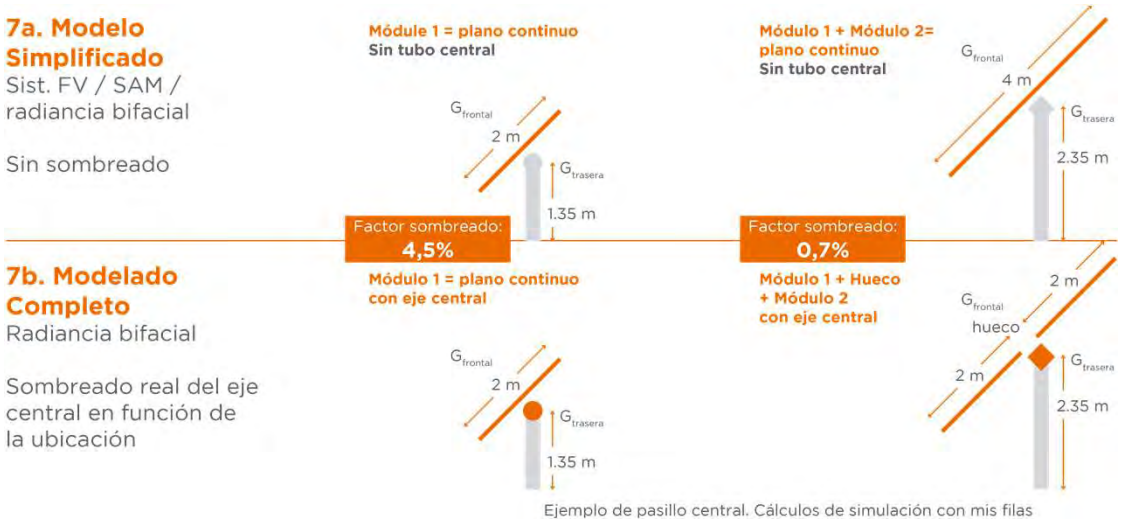


# Parámetros bifaciales

## Sombras

**Sombreado sistema fijación= ↓20% de pérdida de radiación trasera**

**Simulación en PVsyst de SF7 Bifacial**
*Structure Shading Factor* = 0,7%




Ejemplo de pasillo central. Cálculos de simulación con mis filas

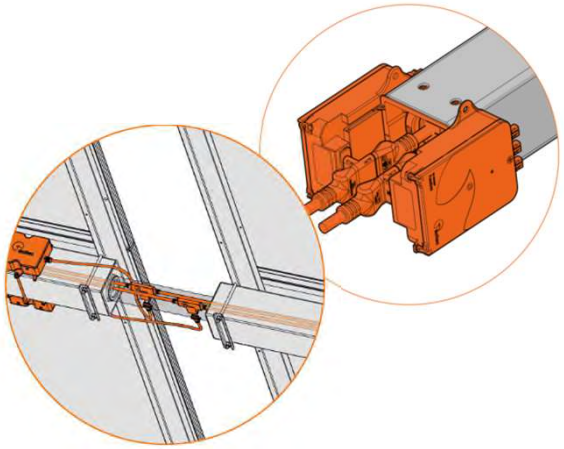
# Parámetros bifaciales

## Sombras

**Simulación en PVsyst de SF7 Bifacial**
*Structure Shading Factor* = 0,7%

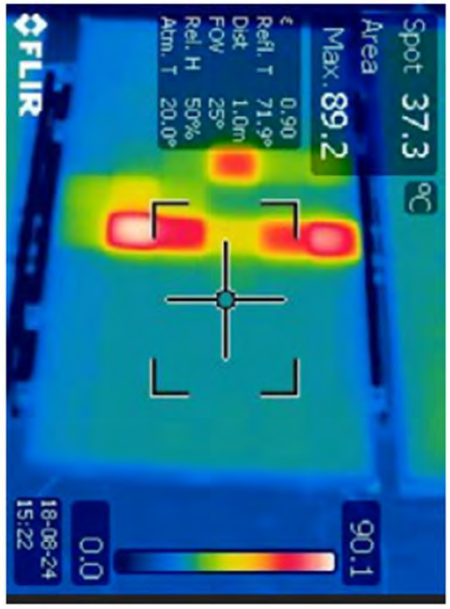
Minimizar el número de elementos que pueden sombrear:

- ✓ El eje no causa sombra → **5% menos de interferencias**
- ✓ 7 hincas/90 módulos → **46%** menos de hincas/MW
- ✓ Sin cables colgantes→ **81%** menos de cableado → StringRunner
- ✓ Sin amortiguadores



# Parámetros bifaciales

## Sombras




Cara frontal
Imagen IR

Módulo cortocircuitado.
Albedo 63%

Sombreado del eje central de un módulo bifacial en configuración 1P

Cara trasera

Sombreado del eje central de un módulo bifacial en configuración 1P

Interferencias por el sombreado del eje

Hueco de 10 cm entre módulo y eje central

**Simulación en PVsyst de 1 en Vertical**
*Structure Shading Factor* = 4,5%

# Parámetros bifaciales

## Altura

**Simulación en PVsyst de SF7 Bifacial**
Mismatch loss factor= 6%

La altura del módulo afecta a la radiación que recibe la parte trasera del módulo :

- Los módulos más altos tienen **más radiación difusa** que los que están más cerca del suelo.
- Los módulos más lejanos al suelo tienen **más radiación reflejada**.
- Los módulos más altos tienden a operar a **temperaturas más bajas**.

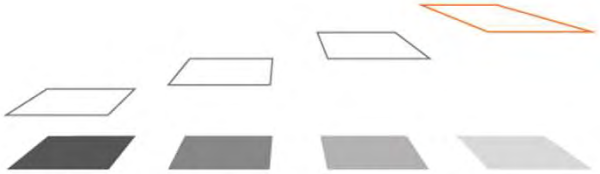


Figura El sombreado de un objeto se aclara a medida que aumenta la altura del objeto. Fuente: Soltec

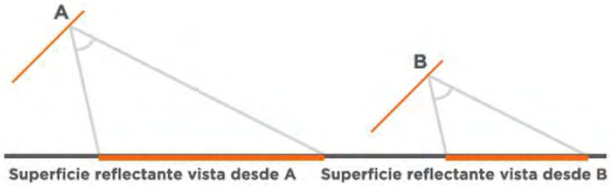
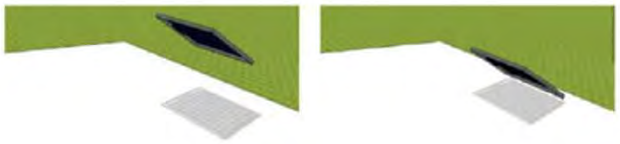



Figura Radiación en la parte posterior de los módulos en posición alta y baja. Fuente: Soltec

Radiación no homogénea en el plano posterior del módulo con poca altura. Fuente: Universidad RWTH Aachen – ISC

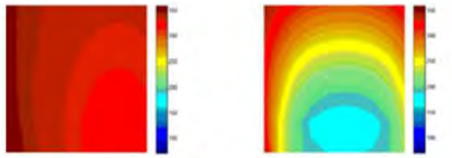
https://www.slideshare.net/sandiaecis/3-yusufoglu-ok



Altura del módulo: 2 m | α = 0,5



Altura del módulo: 1 m | α = 0,5



Radiación en la cara trasera del módulo [W/m²] en un día típico de verano en El Cairo

Mismatch loss standard = 10 % W/m²

Mismatch loss SF7 bifacial = 6 % W/m²

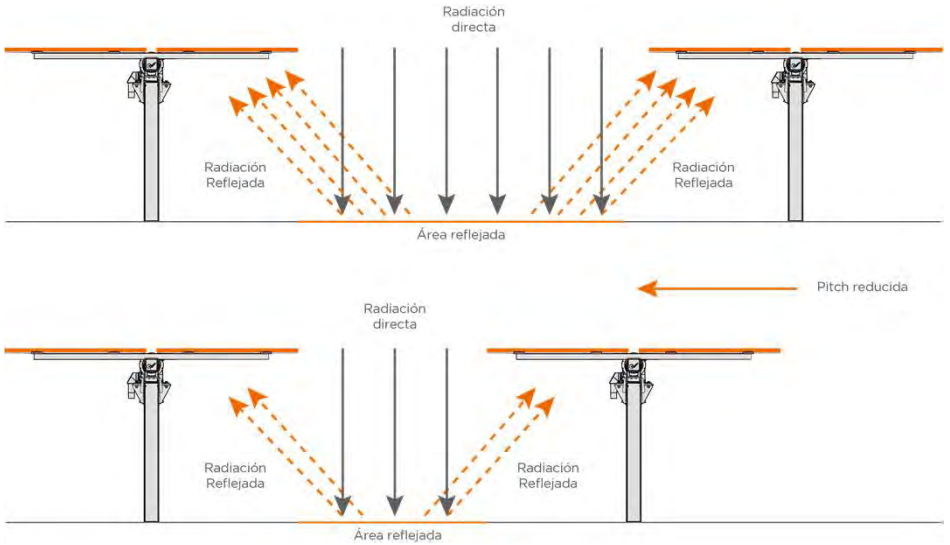
# Parámetros bifaciales

## Distancia entre seguidores o *pitch* (GCR)

| Albedo | Pitch | Δ Producción |
|---|---|---|
| 63% | 12 metros | +2.47% |
| | 10 metros | |
| | 8.7 metros | -8.55% |

Los medidores de nivel de módulo realizados por Soltec indicaron que, para un albedo del 63% y un pitch of 8.7 metros, la generación de energía del modulo bifacial fue un 8.55% más baja que los módulos de seguidores con 10 metros de pitch.

Cuando el pitch aumentó a 12 metros, la producción de energía del módulo aumentó un 2,47%.

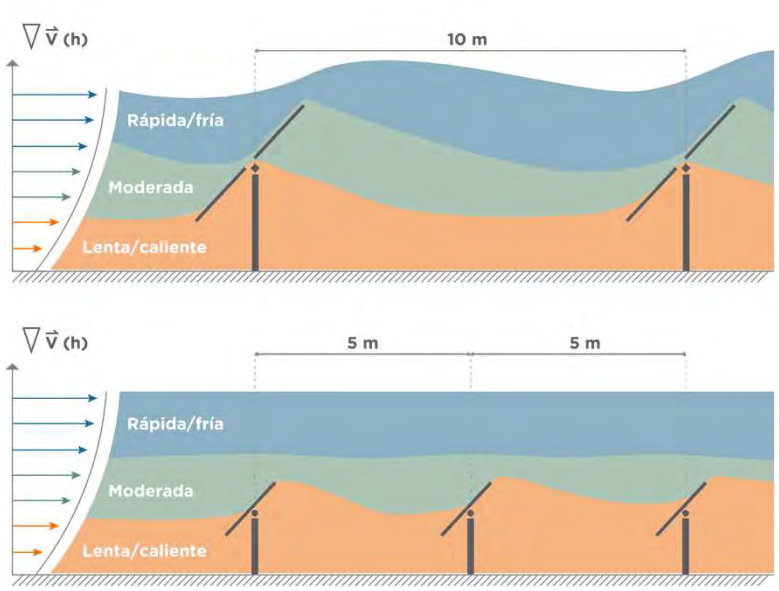


# Parámetros bifaciales

## Temperatura del módulo

**Simulación en PVsyst SF7 Bifacial**
Thermal factor Uc = 37,7% W/m²

Comparación de refrigeración de seguidor 2P y 1P




La temperatura de operación de los módulos hace que el seguidor solar SF7 bifacial produzca un **1.3% más de energía** que un seguidor solar en 1P debido a:

- Mayor altura del seguidor
- Mejor refrigeración

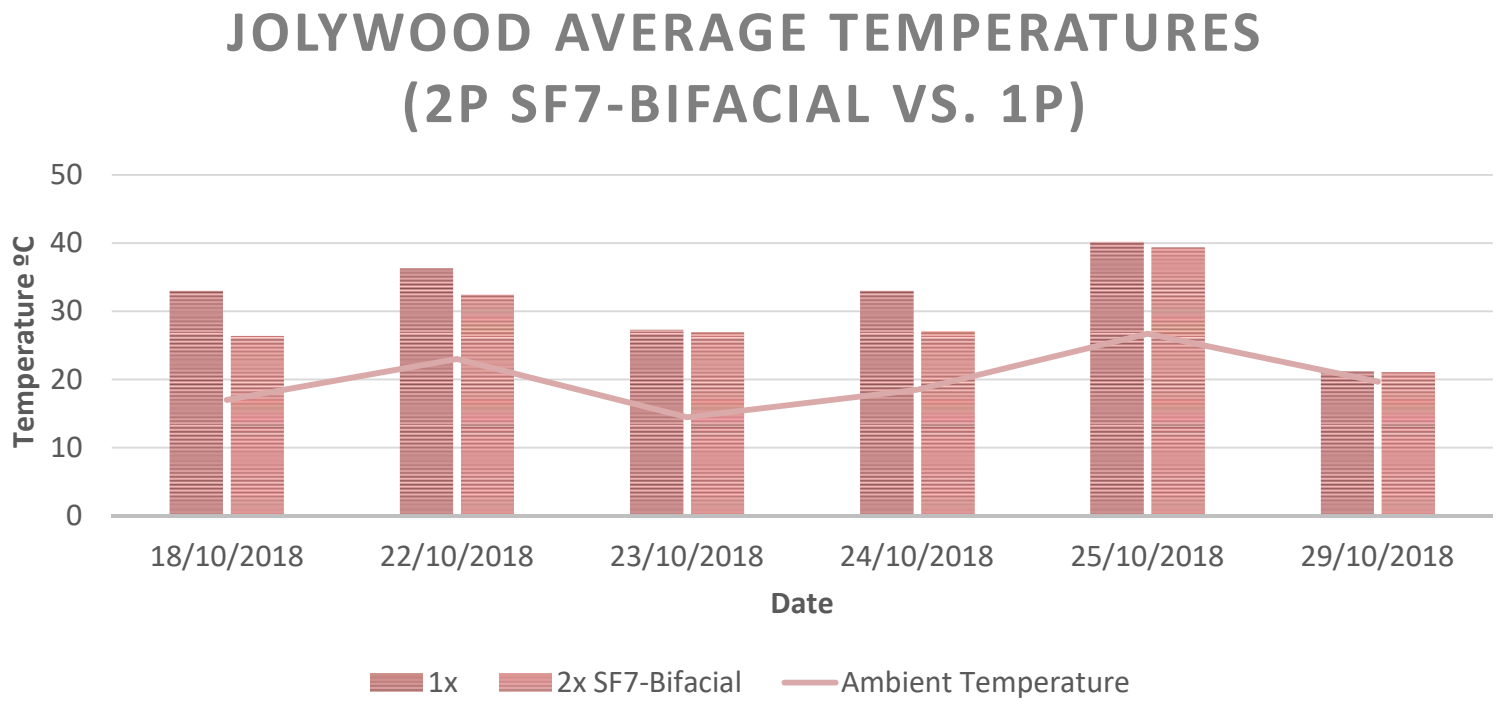
| | | 1P Tracker | 2P SF7 Bifacial | | | 1P Vs. 2P | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Año (2018) | Hora | Módulo T(ºC) | Módulo de abajo T (ºC) | Module de arriba T (ºC) | 2P T | ΔT (ºC) | ΔP % |
| oct 18 | 11:01 | 33.0 | 30.8 | 22.0 | 26.4 | 6.6 | 2.4 |
| oct 22 | 15:23 | 36.3 | 34.6 | 30.3 | 32.5 | 3.8 | 1.4 |
| oct 23 | 10:23 | 27.3 | 29.4 | 24.4 | 26.9 | 0.4 | 0.1 |
| oct 24 | 10:53 | 33.0 | 30.5 | 23.7 | 27.1 | 5.9 | 2.2 |
| oct 25 | 15:23 | 40.2 | 41.3 | 37.4 | 39.4 | 0.9 | 0.3 |
| **Media** | | **33.96** | **33.32** | **27.56** | **30.44** | **3.5** | **1.3** |

Thermal factor standard Uc = 29,0 % W/m²  Thermal factor SF7 bifacial Uc = 37,7 % W/m²

## Parámetros bifaciales

Temperatura del módulo

**Simulación SF7 Bifacial PVsyst**
Factor Térmico Uc = 37.7 W/m²K



# BITEC: comparando la energía producida

## Seguidores solares 1P Vs. Seguidores solares 2P

| Configuración | Altura del Módulo | Albedo | GCR | Ganancia Bifacial |
|---|---|---|---|---|
| **1P** | 1.35 metros | 63% | 40% (5 m pitch) | 16.8% |
| **2P (SF7 Bifacial)** | 2.35 metros | 63% | 40% (10 m pitch) | 19.2% |

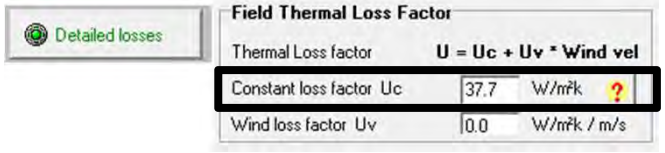
La ganancia bifacial de los módulos dispuestos en el SF7 bifacial con configuración 2P fue un **2.4% mayor** que la de los módulos dispuestos en un seguidor 1P.

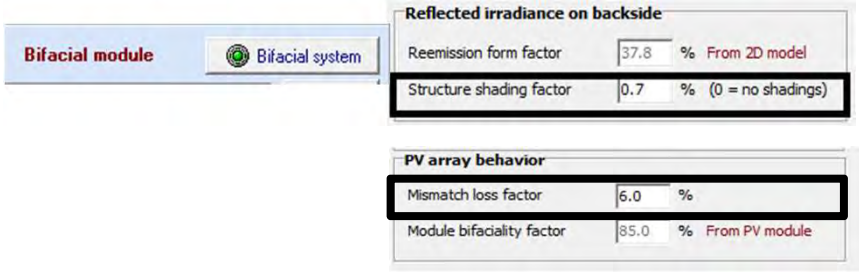
| Parámetros | Ganancia Bifacial |
|---|---|
| Menor temperatura media del módulo (mejor refrigeración) | +1.3% |
| Ausencia de sombreado del eje | +0.7% |
| Mayor altura, pitch y otros detalles de diseño | +0.4% |
| **Total** | **+2.4%** |

# BITEC: comparando la energía producida

Simulación en PVSyst Seguidores solares 1P Vs. 2P

| Parameter | Standard | SF7 |
|---|---|---|
| **Angle** | - | -60º +60º |
| **Height** | 1.35 meters | 2.35 meters |
| **Shading loss factor** | 4.5% | 0.7% |
| **Shed transparent fraction** | 0% | 3.75% |
| **Thermal factor (Uc)** | 29 W/m² | 37.7 W/m² |
| **Mismatch loss factor** | 10% | 6% |



# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

## Miguel Pozuelo Monfort

Soltec

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

JQ aee®
The Association of Energy Engineers
www.aeespain.org

| | |
|---|---|
| 9:45 - 11:30 | **SESIÓN 4 PLENARIA. ALMACENAMIENTO Y FOTOVOLTAICA**<br>Modera: D. Piet Holtrop. **Holtrop S.L.P. Transaction & Business Law**<br>"Gestión inteligente de almacenamiento en redes eléctricas de distribución". **Xavier Benavides Rel.** Chief Technology Officer. **AMPERE ENERGY**<br>"Drones, un futuro de Energías Renovables". **Angélica Bellver Climent.** Chief Technology Officer. **EMIN DRONE SYSTEMS**<br>"El futuro de la fotovoltaica: seguimiento bifacial". **Miguel Pozuelo Monfort.** Sales Manager Europe. **SOLTEC**<br>**Café / Networking** |
| 11:30 - 12:00 | **Continuación SESIÓN 4 PLENARIA** |
| 12:00 - 12:15 | "Contratos Tipo PPA" **Jaime Jaquotot Núñez. JOTA QUATTRO ADVISORS S.L.** |

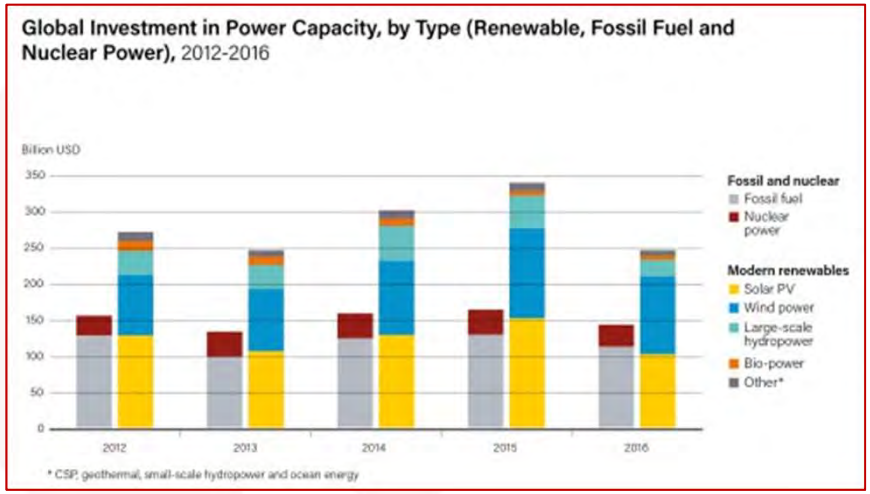
# Contratos PPA (Power Purchase Agreements)

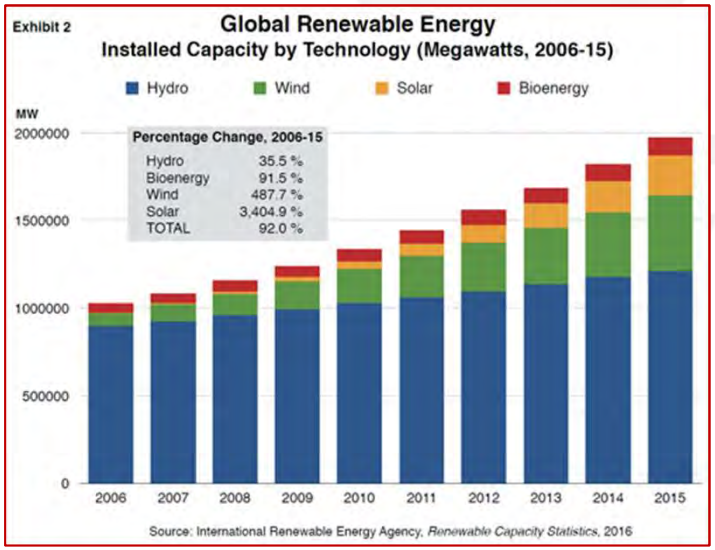
Presentación ETSIME - Madrid

27 de junio de 2019

# El "boom" de las energías renovables en el mundo

El **sector eléctrico mundial** está en un momento de **cambios disruptivos**, tanto por su fuerte digitalización, como por el fuerte abaratamiento de las **energías renovables,** que desde hace años superan en inversión a la energía eléctrica de origen fósil o nuclear.



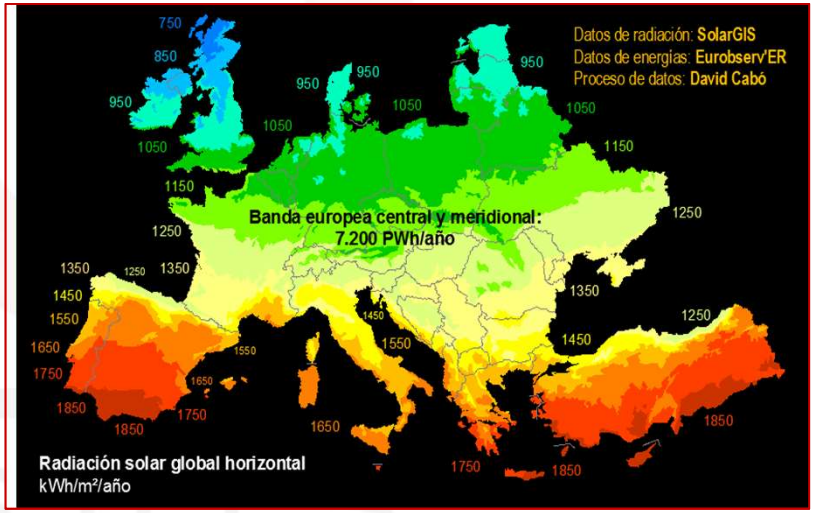




En los últimos años tienen especial protagonismo, la **energía eólica** y la **solar fotovoltaica,** con los **mayores ratios de crecimiento**, por su fuerte reducción de costes, por ser modulares, escalables, de fácil y rápida instalación, en comparación con otras tecnologías.

# El rol de los PPAs en la inversión fotovoltaica

## Las inversiones en fotovoltaica en Europa se están decidiendo principalmente según **OCHO FACTORES DE INVERSIÓN**:

1) **RENTABILIDAD:** El mayor potencial de **horas de funcionamiento** de los países del **sur de Europa** como **España**, **Portugal, Italia**, **Grecia**, **Chipre** o **Turquía** y con **mayor radiación solar**, les hacen muy atractivos para la inversión. Además, en estos países se ha alcanzado la paridad de red o "**grid parity**", que se produce cuando una fuente de generación puede producir a un **coste inferior al precio del mercado mayorista**, lo que abre la puerta a las **inversiones sin subsidios.**

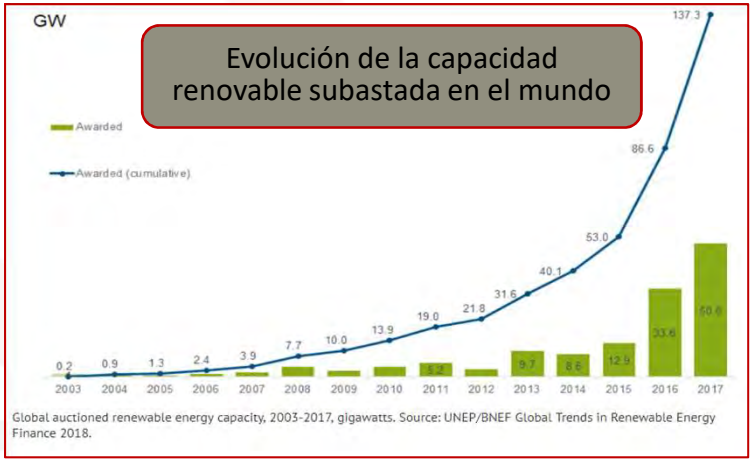



2) **ENTORNO ECONÓMICO Y SEGURIDAD REGULATORIA:** El riesgo país de **España** (**A-**), **Italia** (**BBB**) y **Portugal** (**BBB-**) es menor que el de otros países del sur de Europa con notable radiación solar, tales como **Grecia** (**B**) o **Turquía** (**B+**), lo que fomenta que los grandes inversores internacionales pongan nuevamente su foco en **España**, **Italia** y **Portugal**.

# El rol de los PPAs en la inversión fotovoltaica

3) **MADUREZ DEL MERCADO:** El grado de **liberalización del mercado**, con un funcionamiento fiable y transparente consolidado durante varios años, así como con suficiente **número de participantes**, tanto en el lado de la generación como en la comercialización, es un factor clave.

4) **VISIBILIDAD DE INGRESOS:** La mayoría de las inversiones en renovables se han realizado bajo mecanismos de tarifas reguladas o primas "**feed-in-tariff**", que daban mucha visibilidad a los proyectos. Con la bajada de costes de las renovables, están desapareciendo estos mecanismos de subvención y en su lugar proliferan las **subastas** con suelo o "**floor**" y los proyectos a **mercado puro** o "**merchant**", con o sin **PPA (Power Purchase Agreement).**



Global auctioned renewable energy capacity, 2003-2017, gigawatts. Source: UNEP/BNEF Global Trends in Renewable Energy Finance 2018.

5) **REDUCCIÓN DE EXPOSICIÓN A LA VOLATILIDAD DE LOS MERCADOS:** Los suelos retributivos de las subastas reducen parcialmente la exposición de las inversiones a la volatilidad de los mercados. Asimismo, están proliferando la firma de "**PPA**" entre los **Productores Independientes** (**IPP**) con terceros "**Offtakers**", ya sean **compañías de trading** (operadores mayoristas), **comercializadoras** (suministradores minoristas) o **consumidores finales**. Con un formato más "a la carta" que el de las subastas, **con los PPA se puede mejorar aún más la visibilidad de ingresos y reducir todavía más la exposición a la volatilidad de los mercados.**

# El rol de los PPAs en la inversión fotovoltaica

EL ESPAÑOL

## Acciona ve en los contratos de energía a largo plazo una opción para invertir en España

**España** sigue sin estar en el punto de mira de las inversiones de **Acciona**. La **falta de predictibilidad del mercado** y una retribución insuficiente -que compromete incluso lograr las metas de penetración de renovables marcadas por la Unión Europea-, son los argumentos que da el grupo que preside **José Manuel Entrecanales** para optar por otros mercados a la hora de apostar por el desarrollo de las energías 'verdes'.

Sin embargo, hay una vía para que las inversiones de Acciona en renovables vuelvan a tener a España en cuenta: **los contratos de suministro de energía a largo plazo (PPA, por su sigla en inglés).**

"Casi toda nuestra inversión, la nueva al menos, se hace a través de PPA por una cuestión de riesgo", asegura el presidente de Acciona. "Entrar a precio de mercado en España nos parece de alto riesgo, como puede serlo en cualquier parte. Sin la posibilidad de una predictibilidad en los retornos es improbable que desarrollemos nueva capacidad en España", agrega.

6) **REDUCCIÓN DE RIESGOS DE EXPLOTACIÓN:** La venta de la energía tiene un **riesgo volumen** (la producción no coincide con el volumen comprometido), un **riesgo perfil** (la planta produce en horas distintas a las esperadas) y un **riesgo de desvíos** (la producción real no se corresponde con el programa en el mercado). Los desvíos se pueden reducir operando a través de un **representante que compense los desvíos** con otras instalaciones. La gestión del riesgo volumen y perfil dependerá de la capacidad del IPP de negociar un **PPA para traspasar estos riesgos.**

7) **FACILIDAD DE FINANCIACIÓN o "BANCABILIDAD":** Para mejorar la **bancabilidad** de un proyecto (obtención del "**Project finance**"), se necesita asegurar un **flujo de caja mínimo** durante la vida del préstamo, ya sea con un **suelo retributivo** (subasta) o con un **PPA estructurado a la carta** para asegurar esa caja mínima:

- En proyectos respaldados por **subastas**, primará el **riesgo país** y la **confianza en el regulador**.
- En proyectos con **PPA privados**, serán esenciales el **rating de la contraparte** y las **garantías**.

8) **LIQUIDEZ DE LOS ACTIVOS PARA SU VENTA:** Los activos renovables tienen una **liquidez atractiva** para su venta**:** Hay suficiente demanda de compra. Según la **estructuración legal** y **financiera** de la inversión y en la medida en que se cumplan los criterios de rentabilidad, seguridad regulatoria, visibilidad de ingresos, reducción de exposición a la volatilidad y a los riesgos de explotación, junto con la **potencialidad de financiación** o **refinanciación futura** de los activos, éstos tendrán **mayores posibilidades de venta a terceros** y en mejores condiciones. En este sentido, el contar con el derecho a **suelo** o con un **PPA a buen precio y con un offtaker con buen rating,** harán los **activos más bancables** y por tanto **más líquidos para su futura venta**.

## ¿Pero qué es un PPA y por qué no hemos oído sobre ellos hasta ahora?

- ✓ Un **PPA** (Power Purchase Agreements) es un contrato de compraventa de energía a largo plazo, por el que el **vendedor** (productor) y el **comprador** (offtaker) fijan entre ellos, de forma privada, las condiciones de entrega, plazo, precio y garantías de cobertura del riesgo de crédito, incumplimientos del PPA y terminación anticipada.
- ✓ En los **PPAs renovables**, el vendedor es un **propietario de un proyecto de generación renovable** (**desarrolladores**, **productores independientes, utilities** y/o **fondos de inversión**) que buscan **aseguramiento de ingresos**, generalmente para facilitar la financiación del proyecto (deuda) y/o la entrada de inversores (capital-equity) en el proyecto en las distintas fases de la vida del mismo, ya sea en fase preliminar de **autorización administrativa**, en fase "RtB" o ***Ready-to-Build*** o en proyectos ya en **operación comercial** ("COD" o *Commercial Operation Date).*
- ✓ Los **financiadores** y los **inversores** exigen una mínima **calidad crediticia** de las contrapartes que actúan como compradores en el PPA (Offtakers).
- ✓ Hasta hace un par de años **no eran una forma de contratación habitual** de la energía en España, pues los proyectos de generación renovable ya tenían asegurados la mayor parte de sus ingresos con las **primas** (subvenciones) a las renovables.
- ✓ La bajada del coste de la eólica y solar ha puesto "en mercado" proyectos que antes sólo se desarrollaban con subvenciones al alcanzarse la **paridad de red**

# Actores que intervienen en un PPA – Los productores

## Los productores renovables independientes (IPP)

Según los expertos, la **fotovoltaica** es la tecnología con **mayor recorrido de reducción de costes (37%)** en las próximas décadas:

| | EFICIENCIA DE CONVERSIÓN ELÉCTRICA | COSTE FIJO [€/KW] | COSTE INVERSION 2030 [€/KW] | COSTE INVERSION 2050 [€/KW] | BNEF NEO 2030 [€/KW] | IEA NPS 2030 [€/KW] | MÁXIMO DE HORAS ANUALES | EMISIONES [$TCO_2$/MWH] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NUCLEAR | 33% | 90 | 4500 | 4000 | / | 4590 | 7008 | 0 |
| CARBÓN | 35% | 33 | 2141 | 2141 | 1427 | 1530 | 7000 | 0,93 |
| CICLO COMBINADO DE GAS | 58% | 23 | 900 | 800 | 840 | 900 | 7000 | 0,355 |
| HIDROELÉCTRICA FLUYENTE | 100% | 59 | 2888 | 2888 | / | 2385 | 3000 | 0 |
| HIDROELÉCTRICA REGULABLE | 100% | 59 | 2888 | 2888 | / | 2385 | 1466 | 0 |
| EÓLICA TERRESTRE | 100% | 39 | 1300 | 1200 | 1280 | 1548 | 2200 | 0 |
| EÓLICA TERRESTRE (2050) | 100% | 39 | 1300 | 1200 | 1280 | 1548 | 2800 | 0 |
| EÓLICA MARINA | 100% | 96 | 2580 | 2000 | / | 2880 | 3500 | 0 |
| FOTOVOLTAICA | 100% | 10 | 640 | 400 | 465 | 774 | 2068 | 0 |
| SOLAR TERMOELÉCTRICA | 20% | 125 | 3800 | 2900 | / | 3378 | 2198 | 0 |
| BIOMASA | 32% | 54 | 2517 | 2517 | / | 2160 | 7500 | 0 |
| RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS | 22% | 54 | 5503 | 5503 | / | 6390 | 7500 | 0,85 |

Ante este escenario, los grandes **fondos de inversión** han puesto su foco en la compra de **proyectos y activos de solar** fotovoltaica en operación. Estas inversiones tiene el atractivo de tener **flujos de caja continuos**, **bastante garantizados** y, en gran medida, **predecibles** y con **riesgo limitado**.

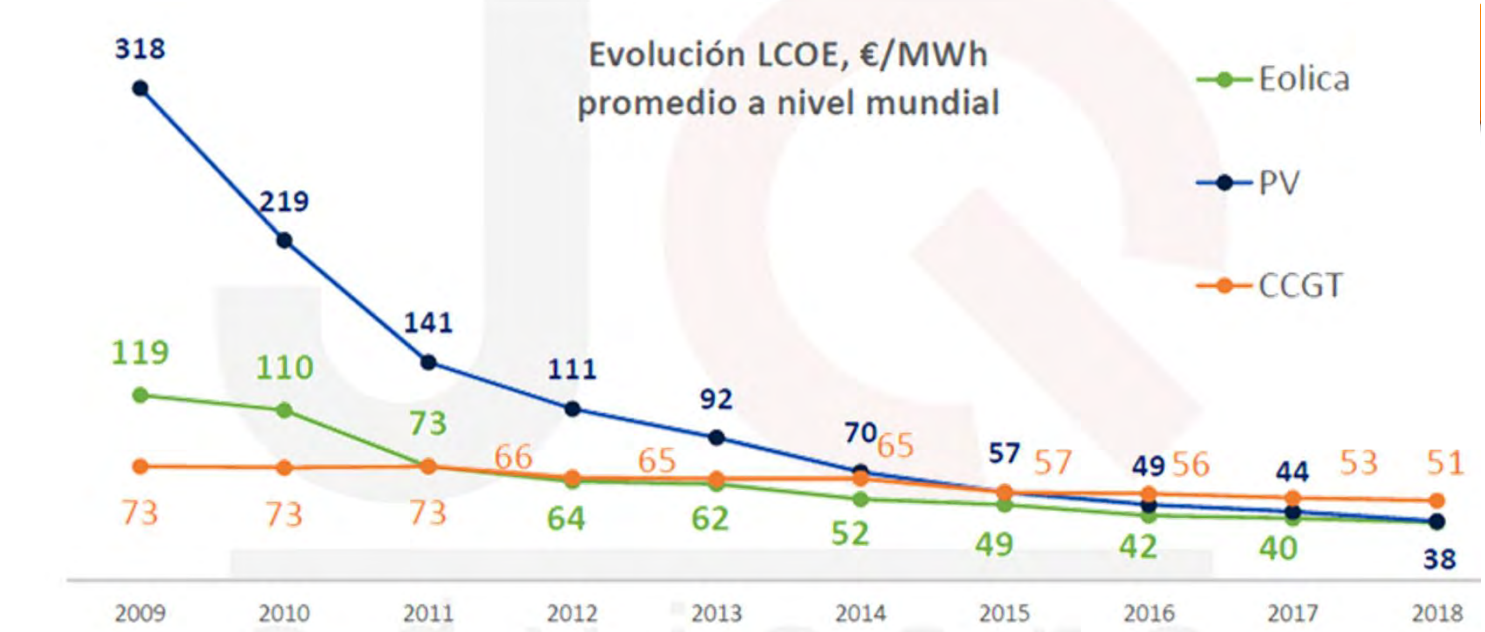
Por otro lado, actualmente no existen muchas inversiones alternativas para estos fondos, pues **la deuda pública tiene una remuneración muy baja** e invertir en renovables tiene una buena imagen entre inversores individuales e institucionales.

Las **eléctricas tradicionales** tienen cada vez menos peso en el control de los activos renovables, que están pasando a ser controlados por **fondos de inversión** o **productores independientes**, proliferando cada vez más la figura del **Independent Power Producer** o **IPP**

*Sólo en 2017 los mayores fondos de inversión que operan exclusivamente en el sector de las renovables captaron **241.112 millones de euros** y cerraron una cifra récord en transacciones de activos por **98.167 millones de euros**.*

# Actores que intervienen en un PPA – Los productores

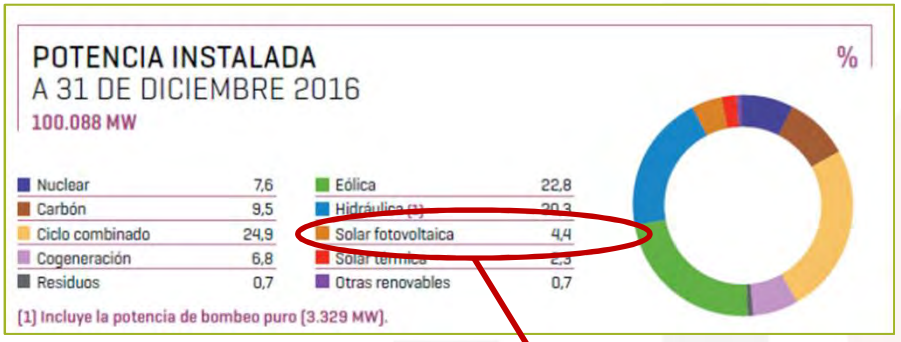
## LCOE – Levelized Cost of Energy




Fuente: Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis v12 (2018)
(inputs en $/MWh traducidos a €/MWh con tipo de cambio de 1,13)

El costo nivelado de la energía (LCOE) representa el coste total medio de la construcción y explotación de un activo generador de electricidad durante su vida útil dividido por la producción total de energía del activo durante esa vida útil. El LCOE también puede considerarse como **el precio mínimo medio al que debe venderse la electricidad para alcanzar el umbral de rentabilidad** a lo largo de la vida del proyecto.

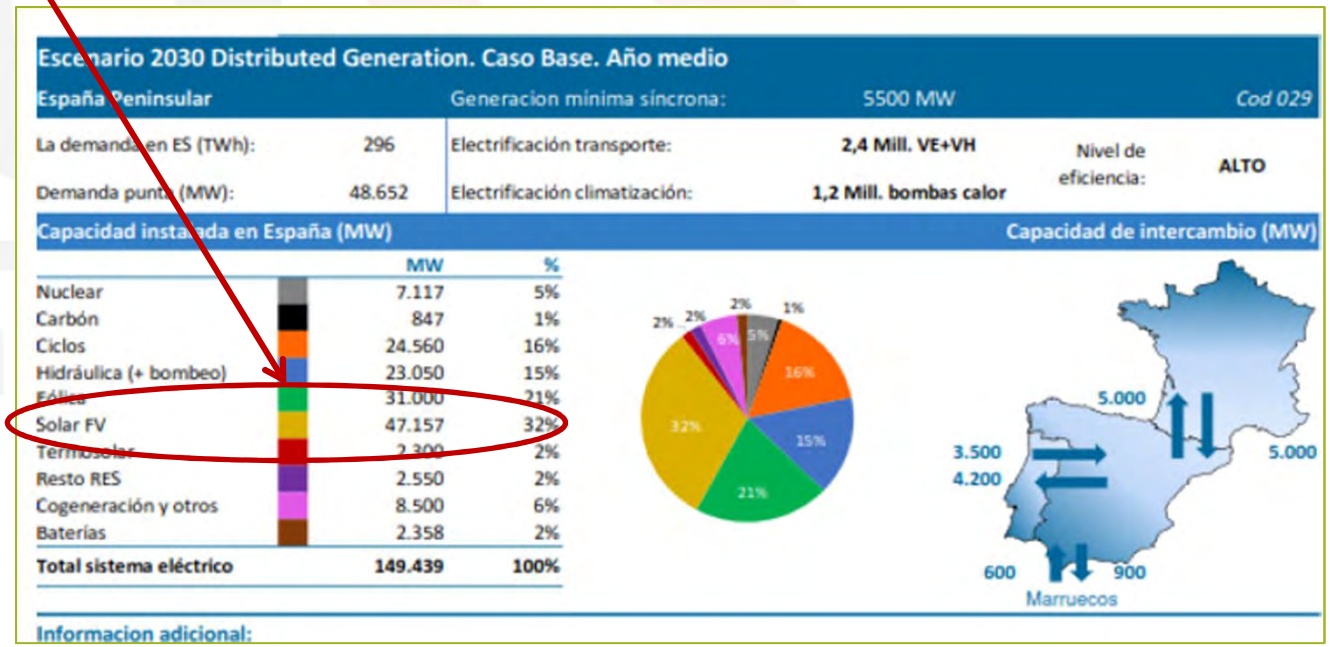
# Actores que intervienen en un PPA – Los productores




**En los próximos 10 años se prevé que en España se multiplicará por DIEZ la capacidad instalada de energía solar**

*Se prevé un **aumento significativo** del número de **plantas controladas por IPP***

**En los próximos 12 años se prevé la puesta en operación de alrededor de 40.000 MW de solar fotovoltaica en España, con la que se producirán 80 TWh anuales, energía equivalente a la totalidad del consumo residencial del mercado eléctrico español**



# Actores que intervienen en un PPA – Los productores

**Los IPP serán cada vez más protagonistas del mercado eléctrico español**

La energía **solar fotovoltaica** pasará de cubrir el **3%** de la demanda a cubrir el **27%,** siendo la **principal fuente de generación en 2030**.

**Balance de generación (GWh). España peninsular**

| | GWh | % | Horas utilización |
|---|---|---|---|
| Nuclear | 50,868 | 16% | 7,147 |
| Carbón | 0 | 0% | 0 |
| Ciclos | 34,702 | 11% | 1,413 |
| Hidráulica | 32,257 | 10% | 2,184 |
| Eólica | 64,923 | 20% | 2,094 |
| Solar FV | 88,027 | 27% | 1,867 |
| Termosolar | 4,589 | 1% | 1,995 |
| Resto RES | 13,409 | 4% | 5,258 |
| Cogeneración y otros | 38,675 | 12% | 4,550 |
| **Generación** | **327,449** | **100%** | |
| **Balance almacenamiento** | **-4,162** | | |
| *Consumo almacenamiento* | *20,319* | | |
| *Producción bombeo* | *10,838* | | |
| *Producción baterías* | *5,319* | | |

**Saldo de intercambios anual (GWh)**

| | | |
|---|---|---|
| ***SALDO NETO*** | ***ES EXPORT*** | ***27,332*** |
| **CONGESTIONES (% horas)** | → | ← |
| ES-FR | 33.4% | 8.9% |
| ES-PT | 4.0% | 0.0% |

## Actores que intervienen en un PPA – Los productores

En la **subasta** de Julio de 2017, **los IPP se adjudicaron el 85% de la capacidad fotovoltaica**
Adicionalmente, **la fotovoltaica multiplicó en 3,5 veces a la eólica** adjudicada

**Resultado de la subasta** En MW

| Fotovoltáica | |
|---|---|
| Cobra (ACS) | 1.550 |
| X-Elio (KKR) | 440 |
| Endesa | 338 |
| Forestalia | 316 |
| Gas Natural Fenosa Renovables | 250 |
| Solaria | 250 |
| OPDE | 200 |
| Prodiel | 180 |
| Alter | 50 |
| Alten | 13 |
| Otras | 322 |
| TOTAL | 3.909 |

| Eólica | |
|---|---|
| Alfanar (Capital Energy) | 720 |
| Ibervento | 172 |
| Greenalia | 133 |
| Gestamp | 24 |
| Otras | 79 |
| TOTAL | 1.128 |

**Total de la subasta 5.037**

A. M. / CINCO DÍAS

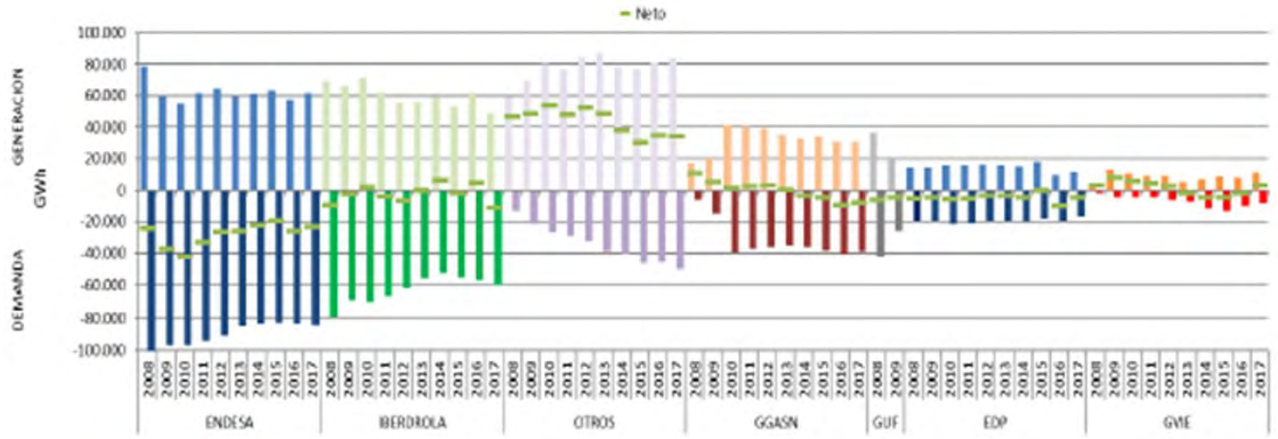
*En esta clasificación se hace referencia como IPP a cualquier compañía que no sea una utility, esto es tanto inversores puros, como desarrolladores o productores independientes*

# Actores que intervienen en un PPA – Los productores

## Ventajas de la integración vertical (generación y comercialización)

Los grupos verticalmente integrados disponen de una cobertura natural (lo que pierde una filial del grupo vía precio lo gana la otra, como contraparte del mismo mercado). El resto de generadores no verticalmente integrados generalmente venden su energía a través de los distintos segmentos del mercado *spot*, teniendo que emplear otros mecanismos de cobertura de riesgo (contratos financieros), que son potencialmente más costosos y cuyo vencimiento es el que esté disponible en los mercados a plazo, organizados y OTC.

***Gráfico 59. Evolución anual de compras y ventas y saldo neto por agente en el mercado mayorista spot. Zona española (*).***



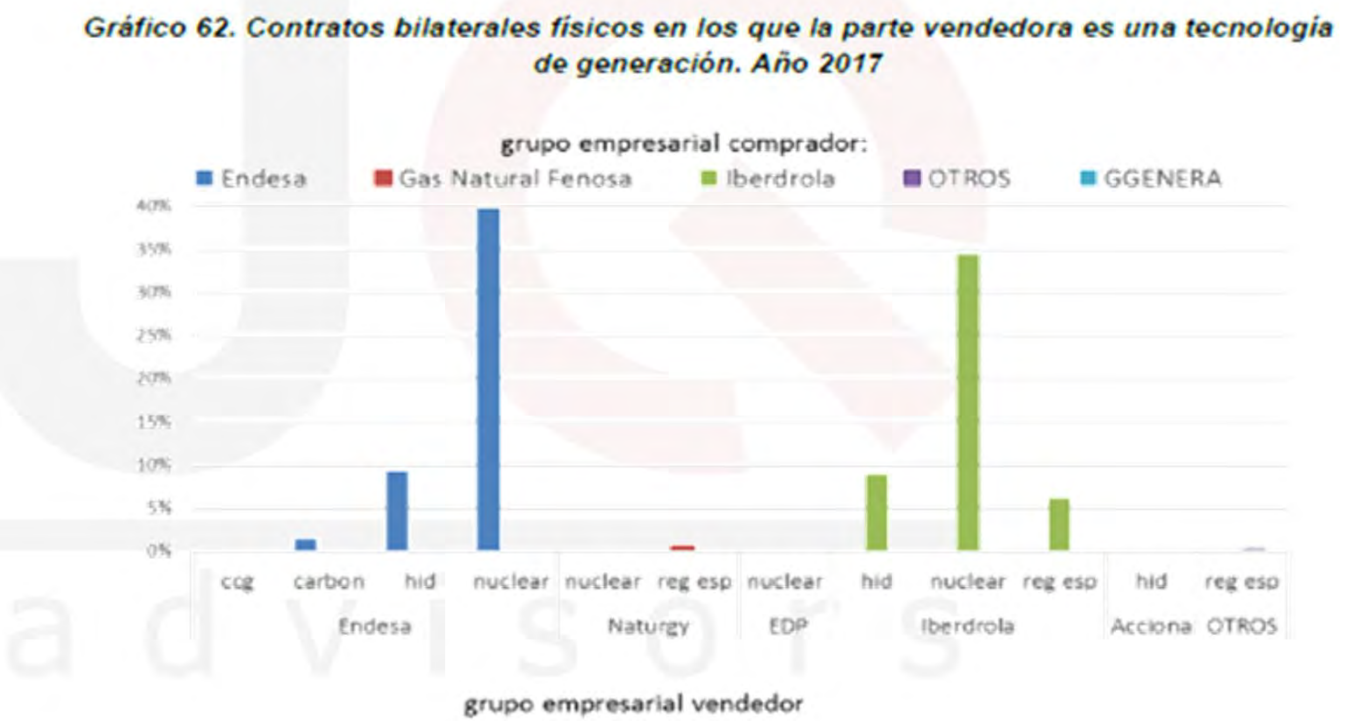

Fuente: CNMC

**Los productores no integrados verticalmente están más expuestos al riesgo de mercado**

# Actores que intervienen en un PPA – Los productores

## Contratos bilaterales físicos del mercado eléctrico español

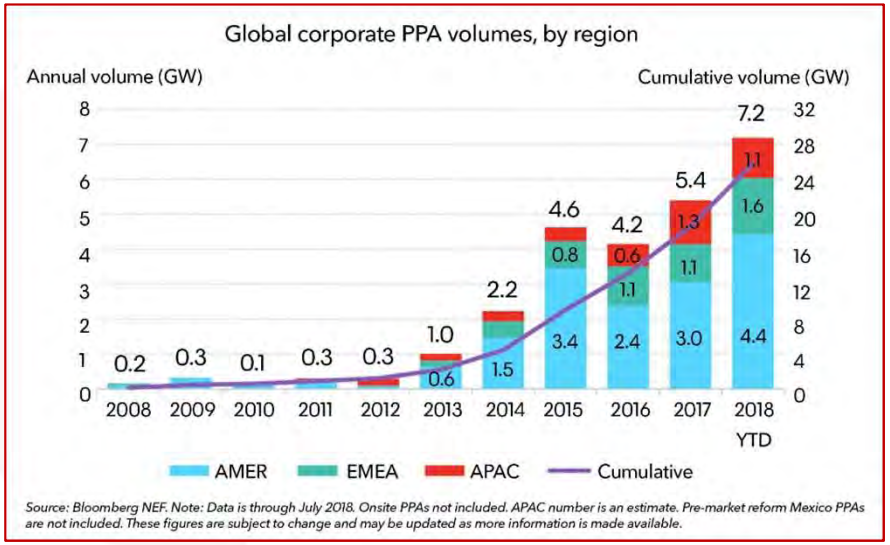
Los grupos verticalmente integrados suelen firmar bilaterales físicos con sus propias empresas comercializadoras

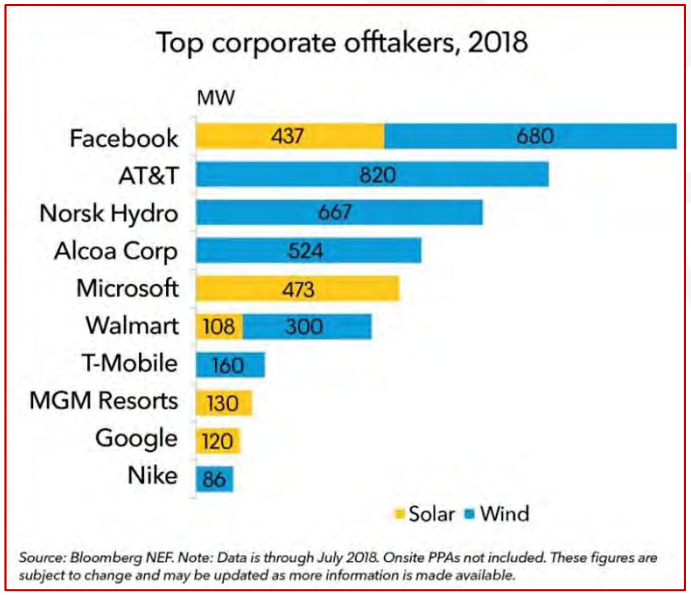



| Opciones de otras comercializadoras para cubrir el precio fijo | Coberturas en cámaras OMIP, MEFF, EEX | Cobert. Fin. contraparte ISDA | Bilateral fis. contraparte EFET | PPA con productor | Generación propia |
|---|---|---|---|---|---|

## Actores que intervienen en un PPA – Los offtakers

El volumen de **PPA Corporativos** (formalizados directamente entre un productor y un consumidor) presenta un **fuerte crecimiento** en los últimos años, especialmente en el continente americano.




Corporaciones de **diversos sectores** se están interesando por firmar PPA Corporativos, lo que **está marcando una tendencia** hacia la compra de **energía renovable**, tanto por su competitividad en precio como por su componente medioambiental.

## Actores que intervienen en un PPA – Los offtakers

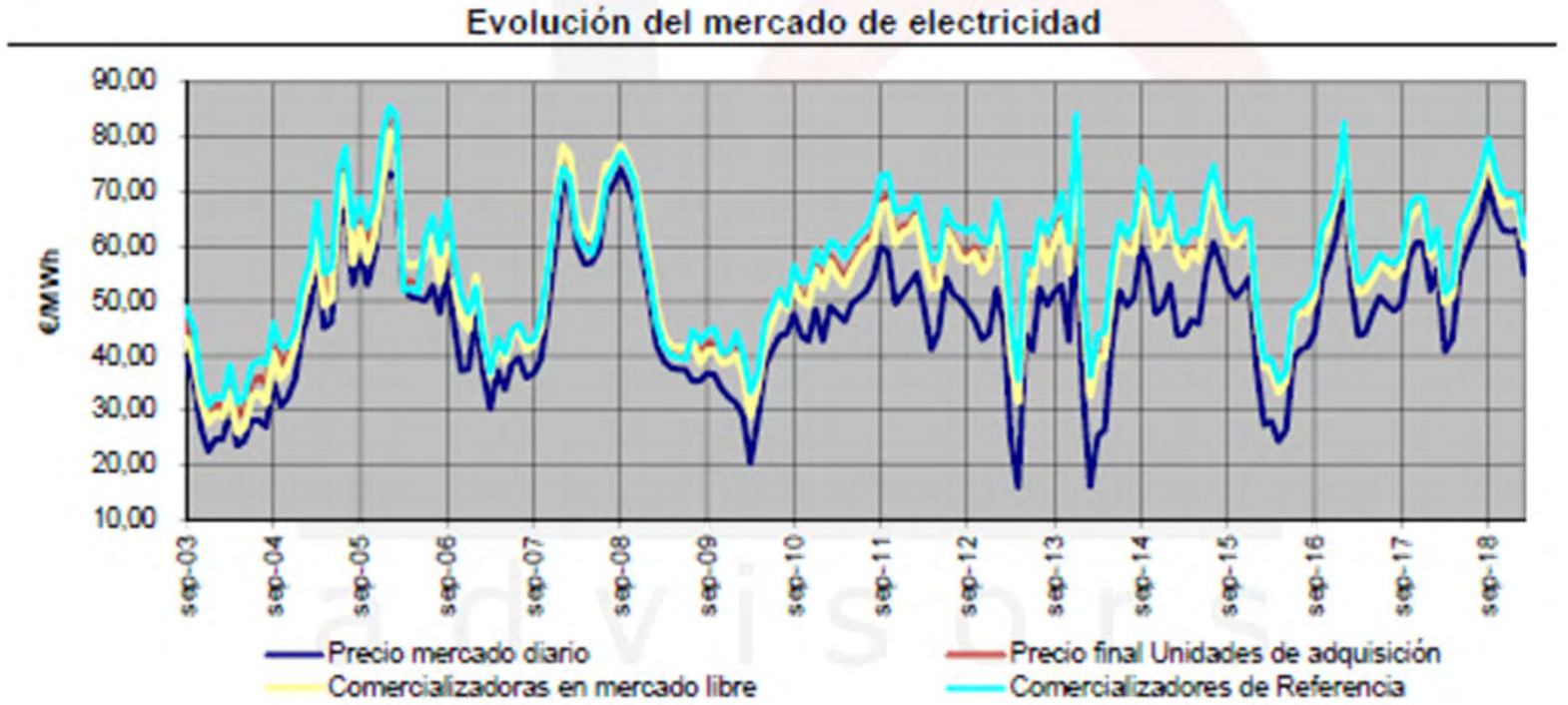
### Los offtakers de los PPA no son sólo los consumidores finales de la energía

Los offtakers son consumidores finales, suministradoras de energía (comercializadoras) o empresas de trading (mayoristas) que adquieren energía para su consumo propio, para el de sus clientes o… para revenderla.

Dada la dificultad operativa de los PPAs Corporativos (suministro directo del productor al consumidor final), en España proliferan más los PPAs con comercializadoras

# El mercado mayorista de electricidad – El riesgo de precio

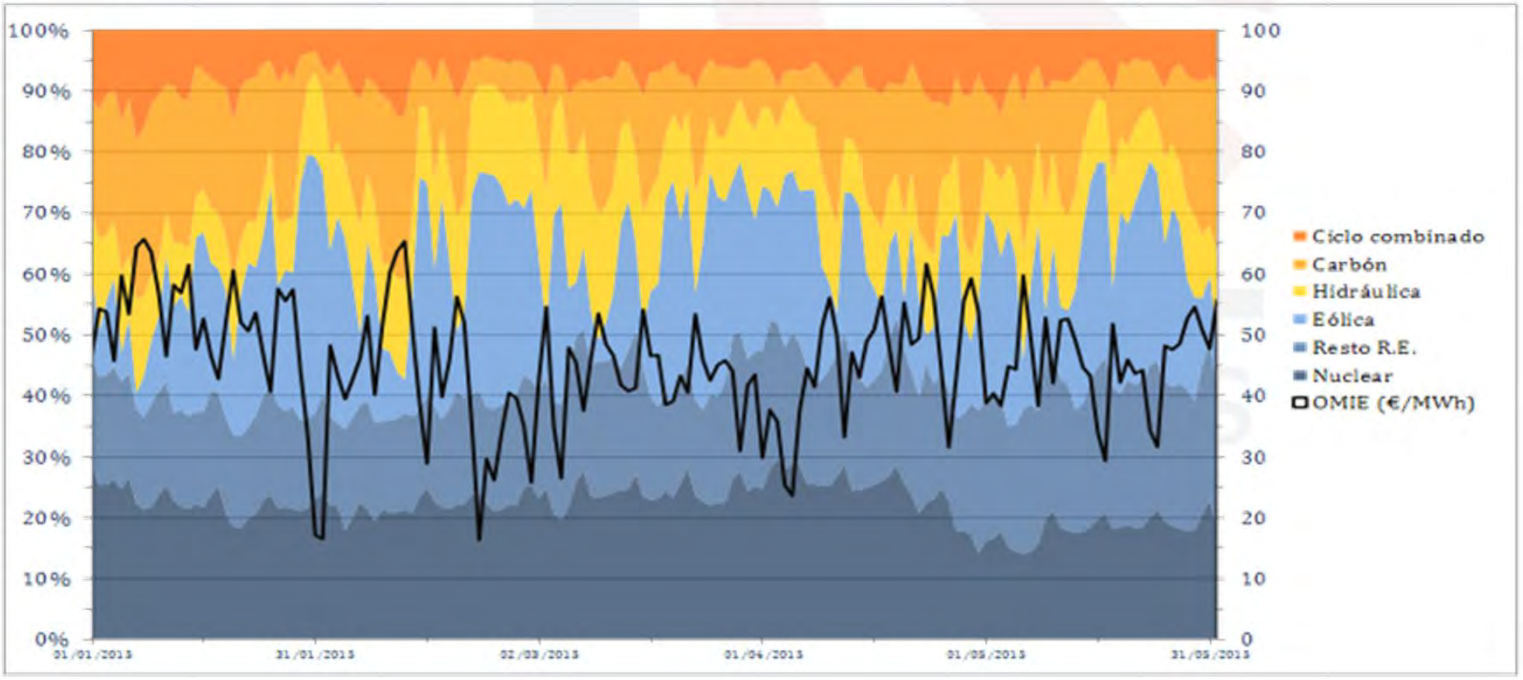
## Mercado diario OMIE



# El mercado mayorista de electricidad – El riesgo de precio

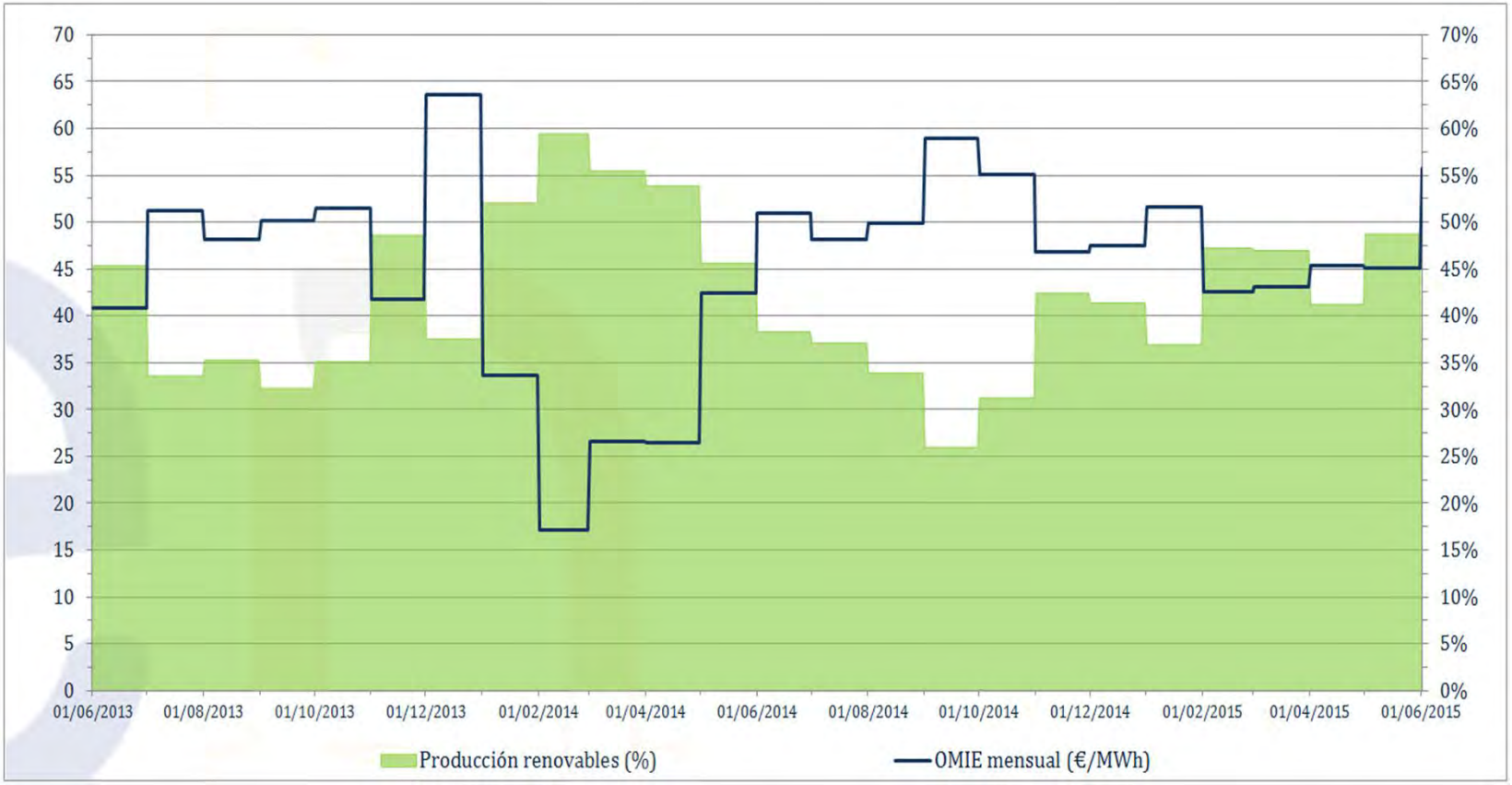
## Mercado diario OMIE – factores que afectan al precio a corto plazo

**Oferta (cobertura de la demanda):** el variado mix de generación del sistema eléctrico español (con una importante peso de las energías renovables), sus costes de generación y la disparidad de vías en estas instalaciones participan del mercado (en muchas ocasiones siguiendo regulación al respecto) tienen una influencia directa en la construcción de curva de oferta y, en consecuencia, en el precio.



# El mercado mayorista de electricidad – El riesgo de precio

## Mercado diario OMIE – factores que afectan al precio a corto plazo

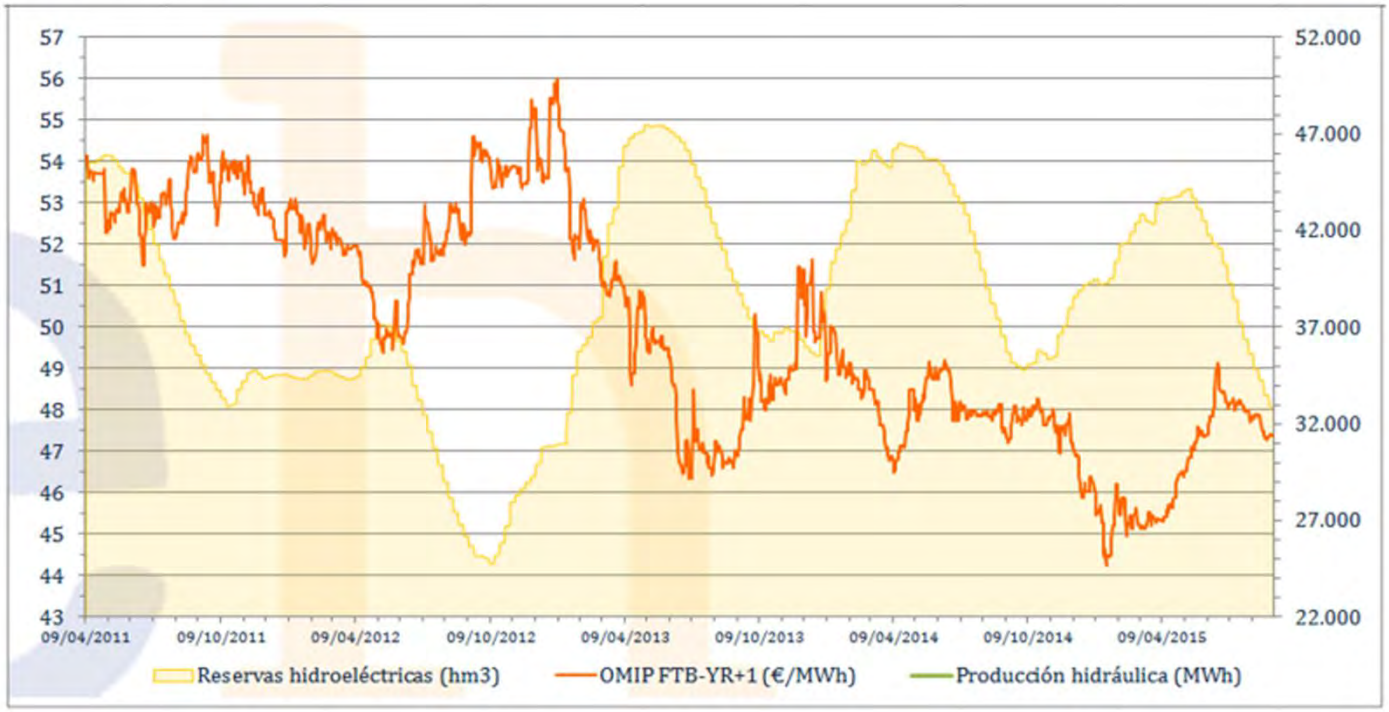



La demanda, la climatología (por su efecto en la producción de Renovables) y más recientemente los derechos de emisiones del CO2 son factores que afectan al precio en el corto plazo (semana-mes)

# El mercado mayorista de electricidad – El riesgo de precio

## Mercado diario OMIE – factores que afectan al precio a medio plazo

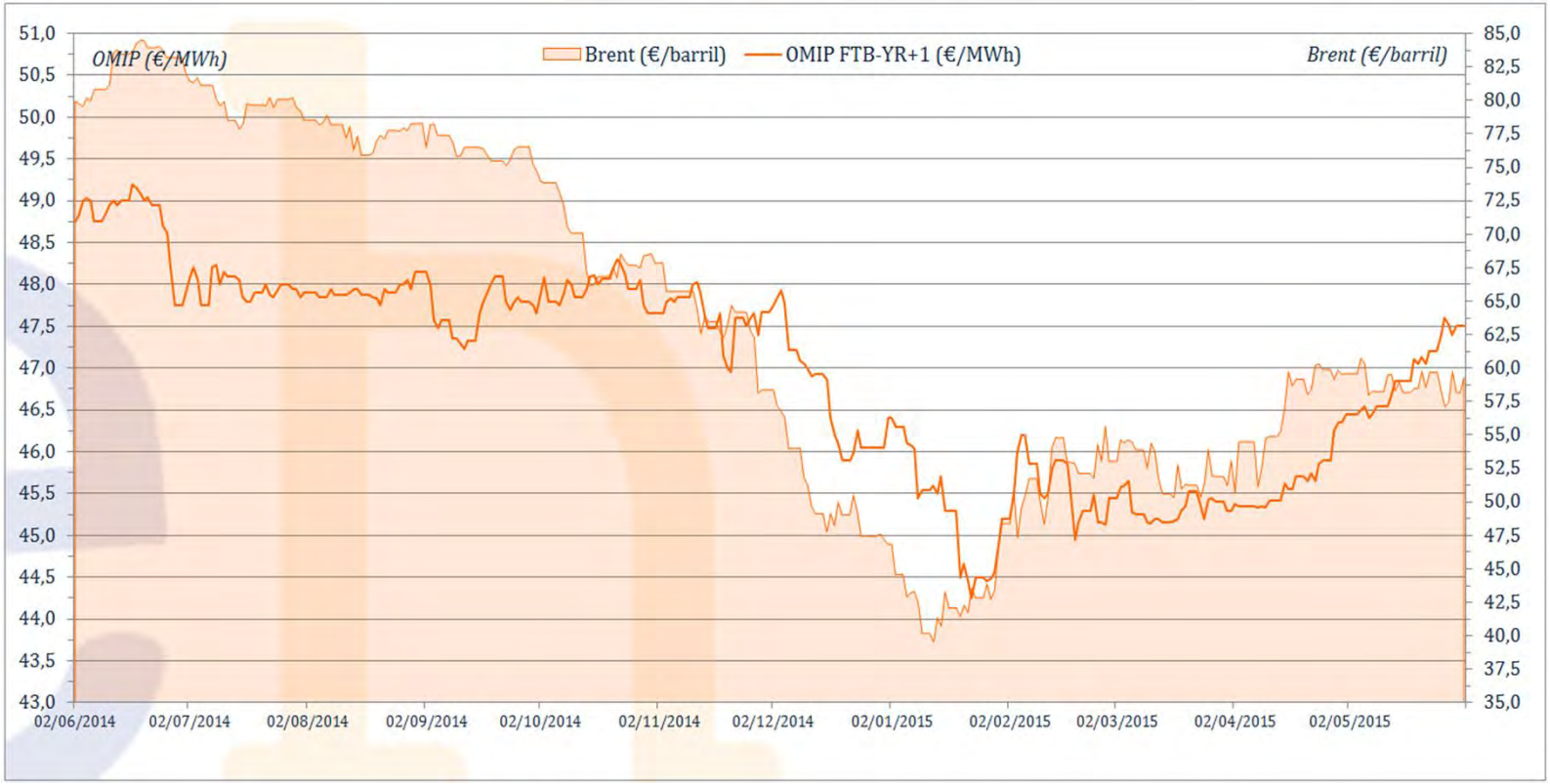
**Hidraulicidad:**




La hidraulicidad, los derechos de emisiones del CO2, los costes de los combustibles fósiles (brent, gas, carbón) y el tipo de cambio €/$ son variables que afectan al precio en el medio plazo (trimestres)

# El mercado mayorista de electricidad – El riesgo de precio

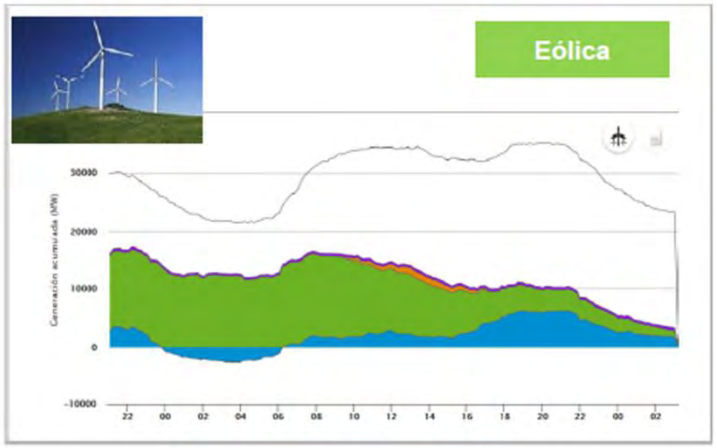
## Mercado diario OMIE – factores que afectan al precio a largo plazo



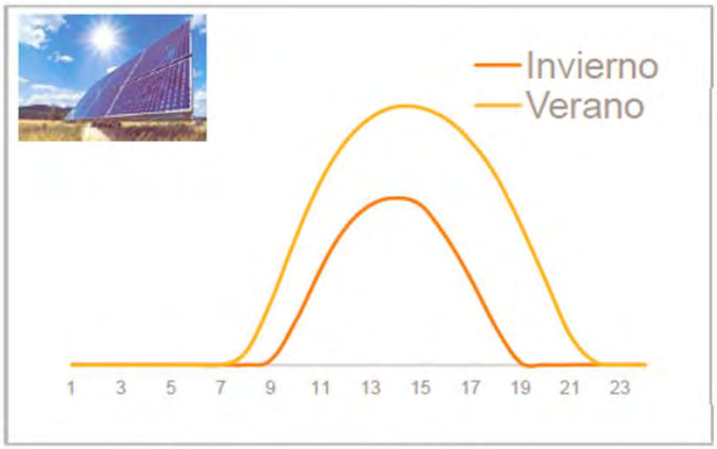

A largo plazo, los precios son muy sensibles a los derechos de emisiones del CO2, los costes de los combustibles fósiles (brent, gas, carbón), el tipo de cambio €/$...y a los cambios regulatorios o estructurales del Mercado (por ejemplo por la entrada masiva de renovables, provocando el efecto de canibalización del precio)

# El mercado mayorista de electricidad – El riesgo de precio

## La canibalización de las renovables




variabilidad en la producción horaria, diaria y mensual




Concentración de su producción en un bloque de horas concretas

La entrada masiva de renovables, pueden provocando el efecto de canibalización del precio, tensionando el precio a la baja en las horas en las que se acumula mayor producción simultánea de renovables.

Debido a este efecto, cuanta más removable, peor es la perspectiva de ingresos y mayor la necesidad de PPAs

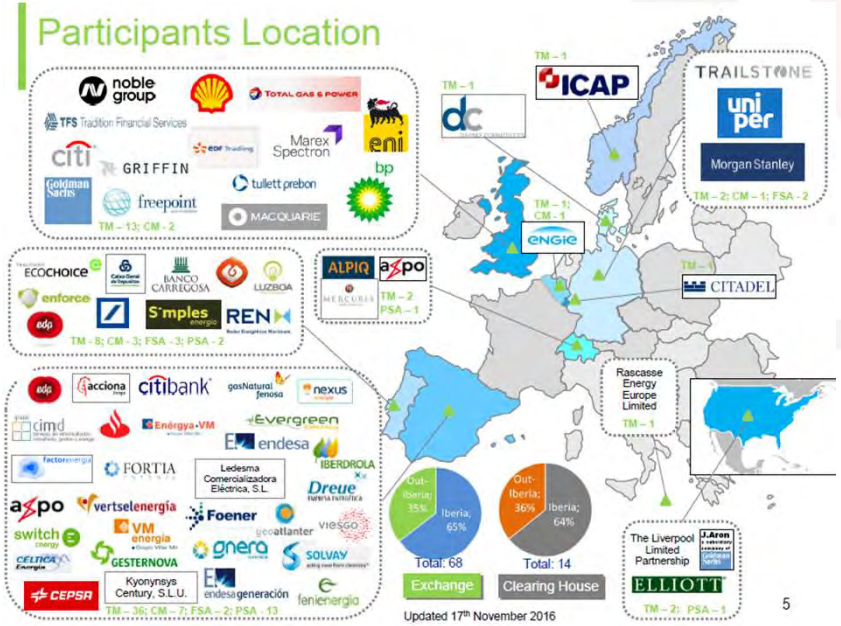
# Los mercados de futuros

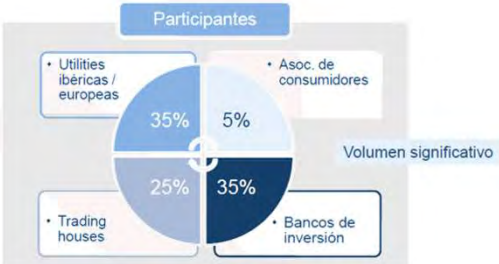
## Mercados a plazo organizados

omip omiclear

MEFF power

BMECLEARING




eeX

ECC European Commodity Clearing

**Spain:**
Acciona Green Energy Developments*
Alcanzia Energia
Axpo Iberia
Banco Santander
CEPSA Gas y Electricidad
Endesa Generacion
Energya VM
Fenie Energia
Gas Natural SDG
Gnera Energia y Tecnología
Iberdrola Generacion Espana
Nexus Energia
Renta 4 Banco
Repsol Trading

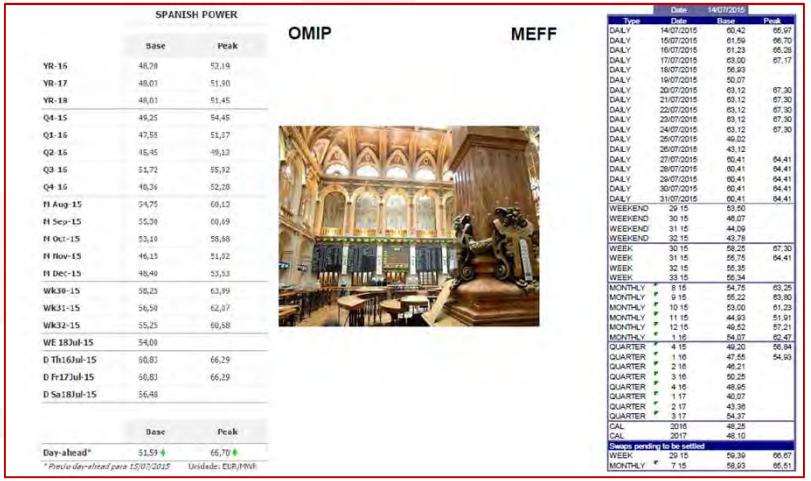
**Portugal:**
EDP

*Admitted in Q1 2018

# Los mercados de futuros

## Mercados a plazo organizados

En los mercados a plazo se publican muchos precios de referencia de productos, pero que no tienen liquidez real detrás



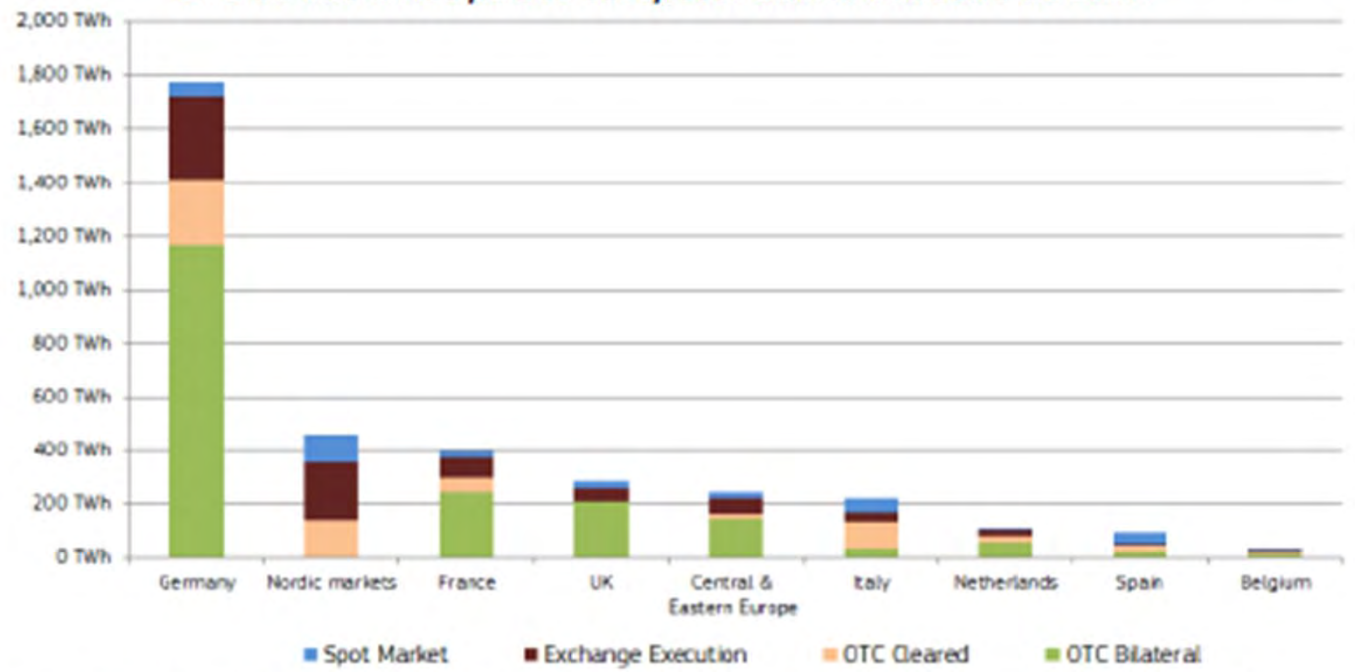

**Productos con mayor liquidez**

| Plazo | Cual es el producto liquido | Tamaño típico en mercado |
|---|---|---|
| Día | Próximo día | 25 MW |
| Fin de semana | Próximo fin de semana | 25 MW |
| Semana | Próxima semana | 25 MW |
| Mes natural | 2 próximos meses | 10 MW (5 MW) |
| Trimestre natural | 4 próximos trimestres | 10 MW (5 MW) |
| Año natural | 2 próximos años | 5 MW |

## Los mercados de futuros

### Volumen negociado en mercados spot, futuros y bilaterales

*Gráfico 63. Comparación del volumen negociado en los mercados diarios, de futuros y OTC de diferentes países europeos. Cuarto trimestre de 2017.*




Fuente: Platts, Trayport, London Energy Brokers Association (LEBA), European Comission

## Características principales de los PPA

### Riesgos

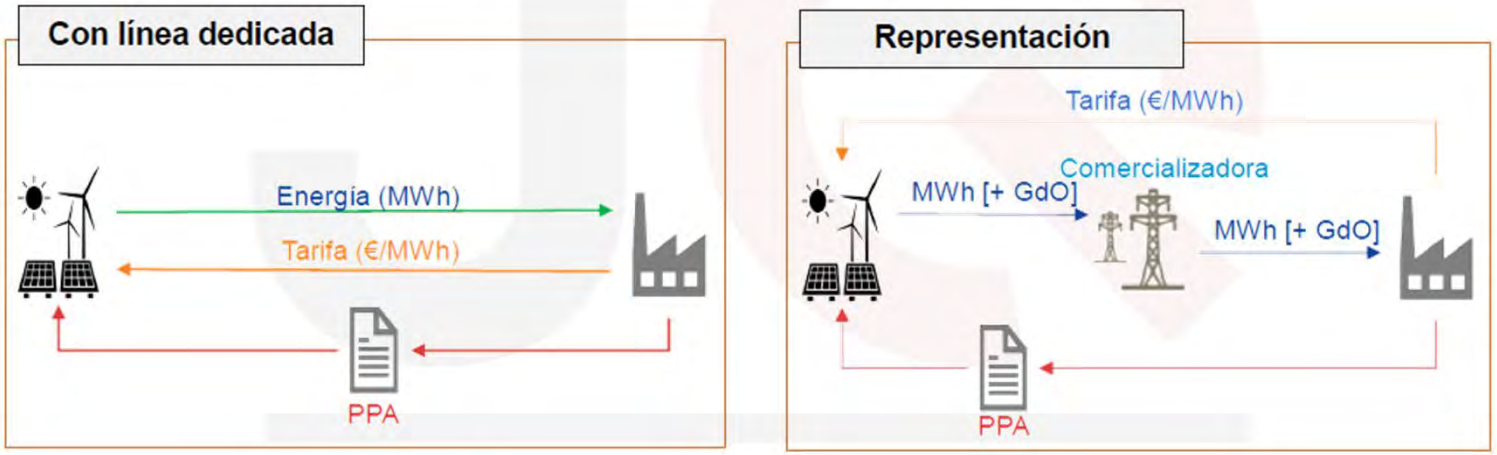
La firma de un PPA implica asumir ciertos riesgos por cada una de las partes:

- Riesgo de volumen.
- Riesgo de precio.
- Riesgo regulatorio.
- Riesgo de crédito.

El riesgo asumido por cada contraparte y la transferencia de los mismos dependerá de la tipología y la estructura de los PPAs

# Características principales de los PPA

## Los PPA con línea dedicada no son habituales en España




Cuando no hay linea dedicada, el productor necesita un representante para gestionar la entrega de su energía en el Mercado. Asimismo, el consumidor final (salvo que sea un Consumidor Directo en Mercado) necesita un comercializador que le suministre la energía del PPA…y que le suministre también la energía que necesita en las horas en las que las plantas renovables no producen.

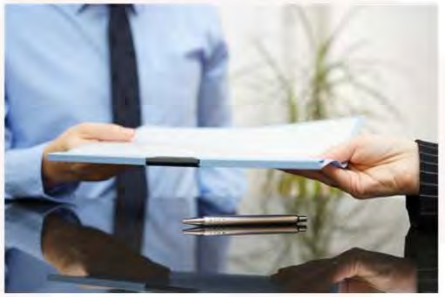
# Características principales de los PPA

## Tipos de PPA

**Físico**

El vendedor/comprador la energía y suministra/recibe recibe/paga el precio de contrato.

**Financiero**



El vendedor/comprador paga/recibe la diferencia entre el precio de mercado y el precio del contrato si la diferencia es positiva y recibe/paga la diferencia si es negativa.

- **VOLUMEN DE ENERGÍA**
  - Pay-as-Produced.
  - Baseload
  - Perfil sintético
- **ESTRUCTURA DE PRECIO**
  - Precio fijo, con o sin actualización anual.
  - Descuento sobre mercado OMIE con precio mínimo garantizado (floor).
  - Precio OMIE con precio máximo y mínimo (collar).
- **PLAZO**
  - Desde 5 hasta 20 años (en Europa) y hasta 25 años (en América).

# Características principales de los PPA

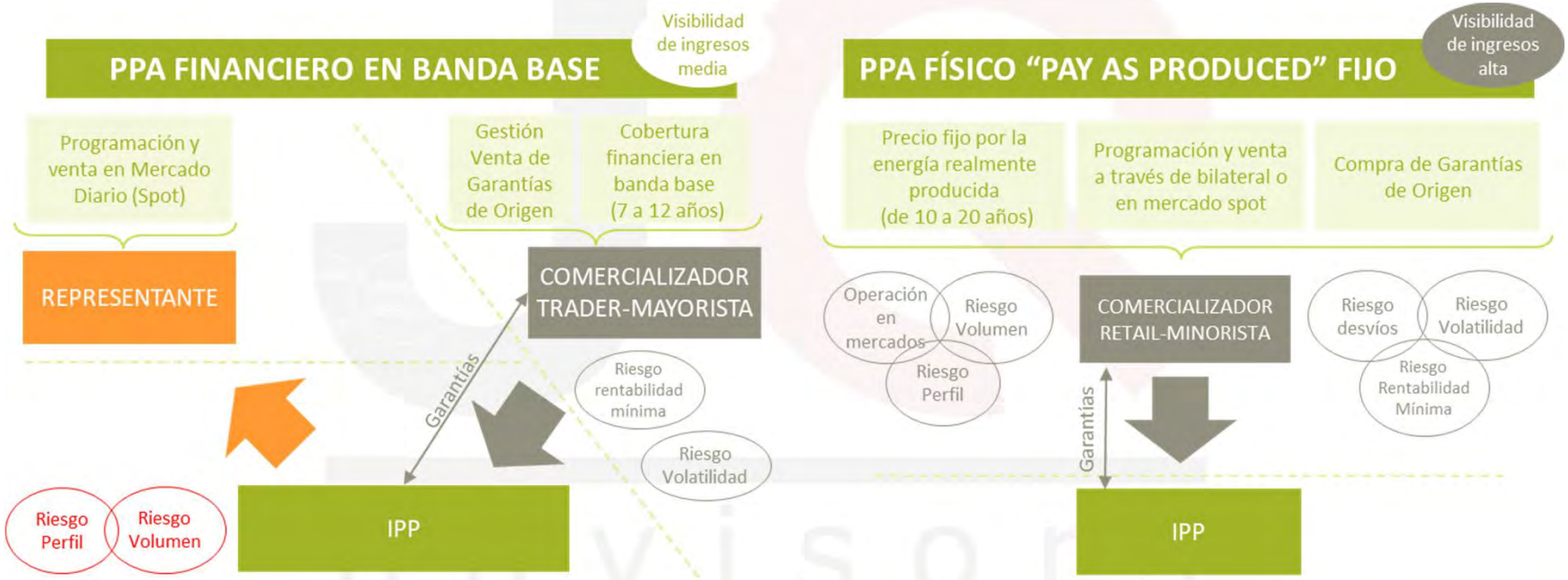
## OPCIONES DE VENTA DE ENERGÍA SIN PPA

**El IPP no tiene estructura de gestión de energía** y externaliza toda la venta de su energía a través de un **representante** que asume el **riesgo de desvíos**, apantallándolos con otras plantas de su portfolio

En plantas respaldadas por una **subasta**, el IPP sigue externalizando la venta de su energía a través de un **representante**, que asume el **riesgo de desvíos**, pero el IPP **se quita el riesgo de rentabilidad mínima**

# Características principales de los PPA

## OPCIONES DE VENTA DE ENERGÍA CON PPA CON COMERCIALIZADOR

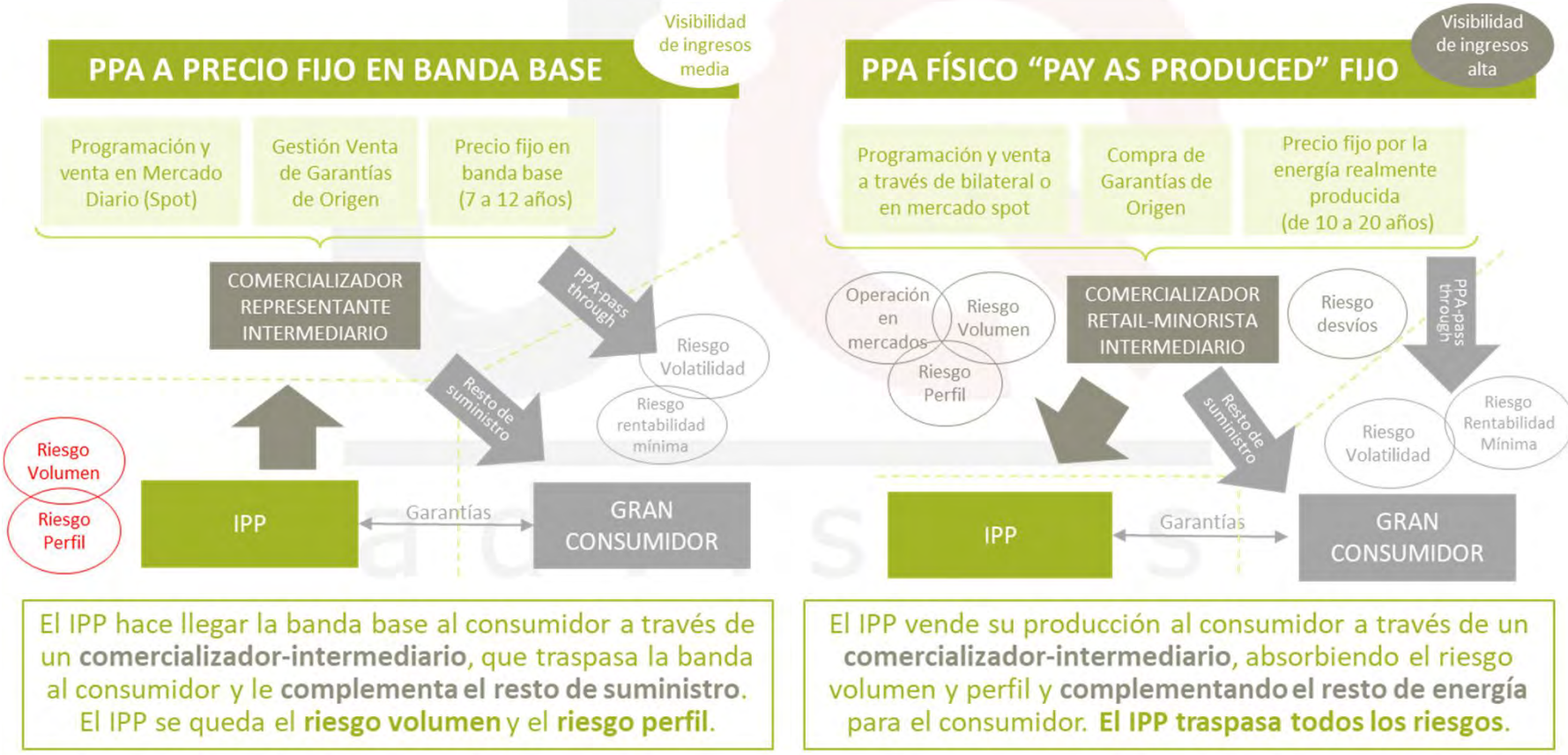



Con un **PPA financiero**, el IPP externaliza la venta física con un **representante**, pero se quita el **riesgo de rentabilidad mínima** y traspasa la **volatilidad** al **offtaker financiero** a cambio de un **descuento en el precio.**

Con un **PPA físico,** el IPP vende toda su energía al **offtaker físico** (**comercializador minorista** que actúa también de **representante**), al que **traspasa todos los riesgos** a cambio de un **descuento en el precio.**

# Características principales de los PPA

## OPCIONES DE VENTA DE ENERGÍA CON PPA CORPORATIVO CON CONSUMIDOR



# Los contratos PPA - El dilema del inversor

*De las **necesidades de financiación** y de las **necesidades de venta de la energía** producida por las plantas, ya sea…*

*(i) directamente en el **mercado***
*(ii) respaldada por una **subasta***
*(iii) protegida con un **PPA privado***
*(iv) o una **combinación** de las tres…*

*…nacerá una **relación con otros actores:***

*(i) los **reguladores***
*(ii) los **operadores de mercado***
*(iii) los **operadores del sistema o "TSO"***
*(iv) Las **compañías distribuidoras***
*(v) los **representantes***
*(vi) los **offtakers de PPA**, que podrán ser*

- *Comercializadoras – **Mayorista/Trader***
- *Comercializadoras – **Minorista/Retailer***
- *Grandes consumidores – **Industrial***
- *Grandes consumidores – **Sector servicios***
- *Grandes Consumidores – **Sector público***

*Los grandes inversores se encuentran ante el reto de encontrar el **equilibrio óptimo** de todos los factores anteriores para **acertar en su decisión** en la **forma óptima de gestionar y vender su energía** y alcanzar los **retornos esperados de su inversión**.*

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

12:15 - 14:15

**SESIÓN 5 Track A. NZEB y MOVILIDAD**

Modera: David de Diego

"Retos medioambientales en el transporte marítimo, soluciones energéticas". **José Poblet.** Gerente. **COTENAVAL**

"LNGonwheels, una propuesta innovadora de suministro de GNL a pequeña y mediana escala en zonas de difícil acceso" **Miguel Duvison Santiago.** Lng Project Manager. **NATURGY**

"Protocolo de energía del Ayuntamiento de Barcelona: regulación local nZEB de los edificios municipals" **Christian Escrig Pérez.** Técnico en Eficiencia Energética. **AYUNTAMIENTO DE BARCELONA**

"El coche electrico y su papel en la descarbonización" **Javier Tomás.** Director Universidad Corporativa. **POWER ELECTRONICS**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# Retos medioambientales en el transporte marítimo, soluciones energéticas

José Poblet Martínez

COTENAVAL
INGENIERÍA NAVAL

aee
The Association of Energy Engineers
Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice


1 Reglamentación

2 Soluciones alternativas

3 Bunkering

4 Reto 2030

5 Proyectos emblemáticos

# Índice


1 **Reglamentación**

2 Soluciones alternativas

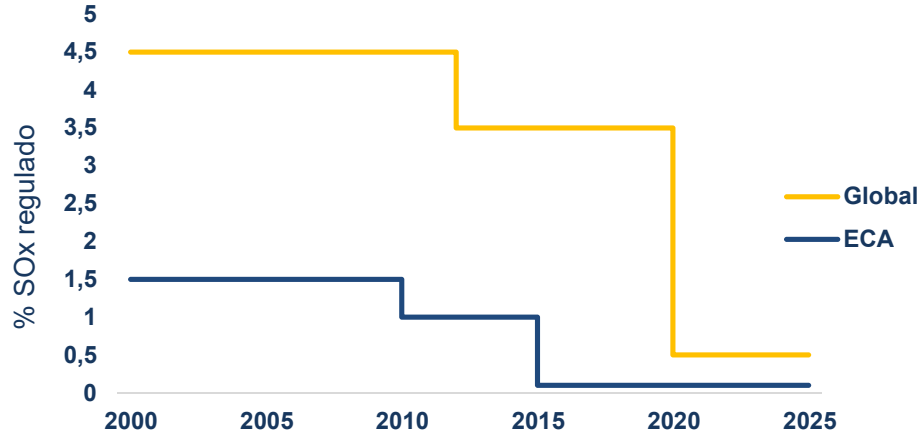
3 Bunkering

4 Reto 2030

5 Proyectos emblemáticos

# Límite 2020, Regulación SOx

- ✓ **Aprobada "MEPC.176 (58)", 10/10/2008**
- ✓ **Ratificada "MEPC 70", 28/10/2016.**
- ✓ **Aplica con retroactividad a todos los buques.**



■ ECA

□ GLOBAL

- ❖ Regulación aplicable a nivel mundial donde se limita la emisión de SOx
- ❖ Importante impacto mundial a partir de 2020 (Cambio de 3,5% a 0,5%).

# Límite 2020, Regulacion NOx

Anexo VI Marpol. No se aplica con retroactividad.
Limite TIER III solo aplica en zonas NECA.
En función de la edad del buque se le aplica un limite TIER determinado

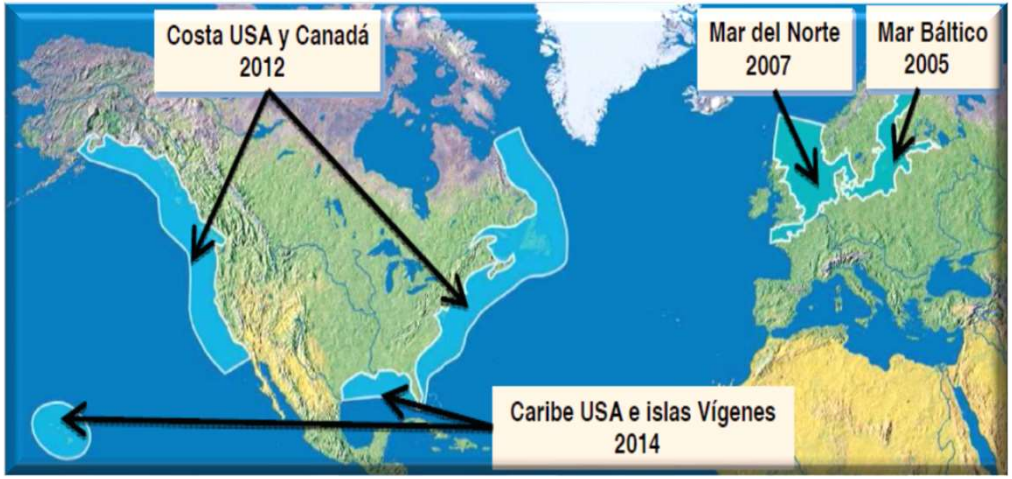
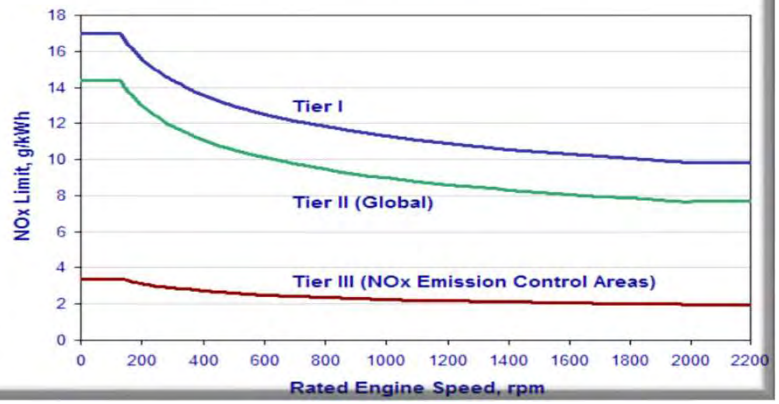



Table 1. MARPOL Annex VI NOx Emission Limits

| Tier | Date | NOx Limit, g/kWh | | |
|---|---|---|---|---|
| | | n < 130 | 130 ≤ n < 2000 | n ≥ 2000 |
| Tier I | 2000 | 17.0 | $45 \cdot n^{-0.2}$ | 9.8 |
| Tier II | 2011 | 14.4 | $44 \cdot n^{-0.23}$ | 7.7 |
| Tier III | 2016† | 3.4 | $9 \cdot n^{-0.2}$ | 1.96 |

† In NOx Emission Control Areas (Tier II standards apply outside ECAs).



# Índice


1 Reglamentación

2 **Soluciones alternativas**

3 Bunkering

4 Reto 2030

5 Proyectos emblemáticos

# Alternativas

## Heavy Fuel Oil

- Combustible **más utilizado** actualmente
- Competitivo en precio
- **No cumple** por si mismo la **regulación de azufre ni NOx**

## Marine Diesel Oil

- **Cumple** con los limites exigidos de **emisión de azufre**.
- **No es competitivo en precio**
- Necesita un equipo **SCR** para catalizar NOx y **poder operar en zonas NECA**

## Scrubber

- Se ha de instalar un **equipo de limpieza de gases** en la chimenea del buque.
- Permite que los motores **sigan funcionado con HFO**
- Requiere **mayor consumo** y **mayor mantenimiento**
- Necesita un equipo **SCR** para catalizar NOx y **poder operar en zonas NECA**

## LNG

- El buque consume un **combustible limpio** que no contiene azufre.
- Requiere de la instalación de equipos especiales
- **Precio** del gas natural **competitivo**
- Su utilización conlleva **beneficios fiscales**

## ULSHFO

- **Incertidumbre** de precio y disponibilidad

## H2

- Tecnología poco desarrollada.
- Poca disponibilidad de suministro

# Índice


1 Reglamentación

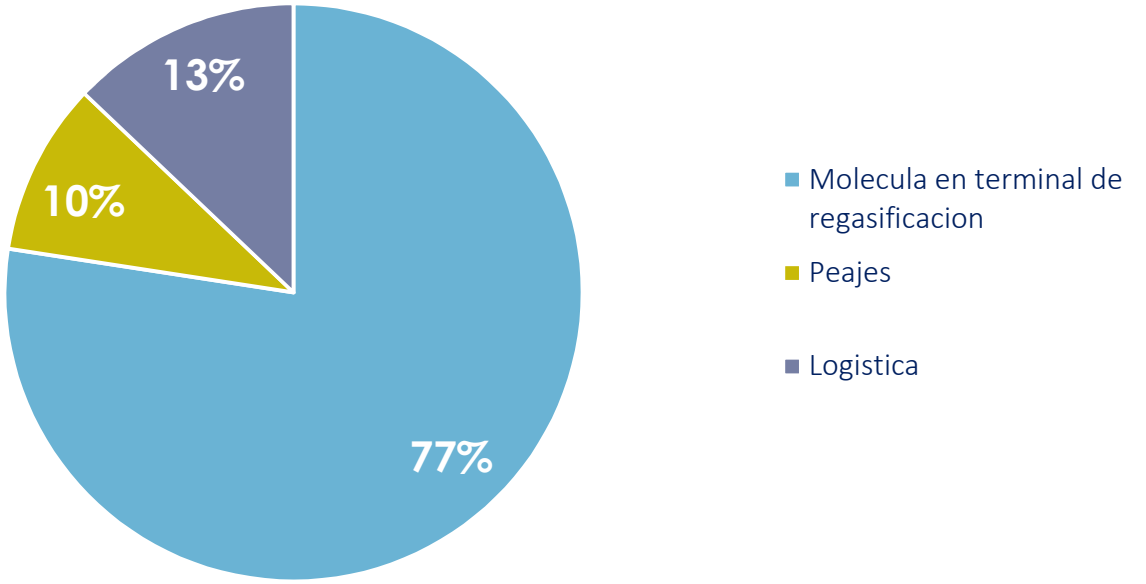
2 Soluciones alternativas

3 **Bunkering**

4 Reto 2030

5 Proyectos emblemáticos

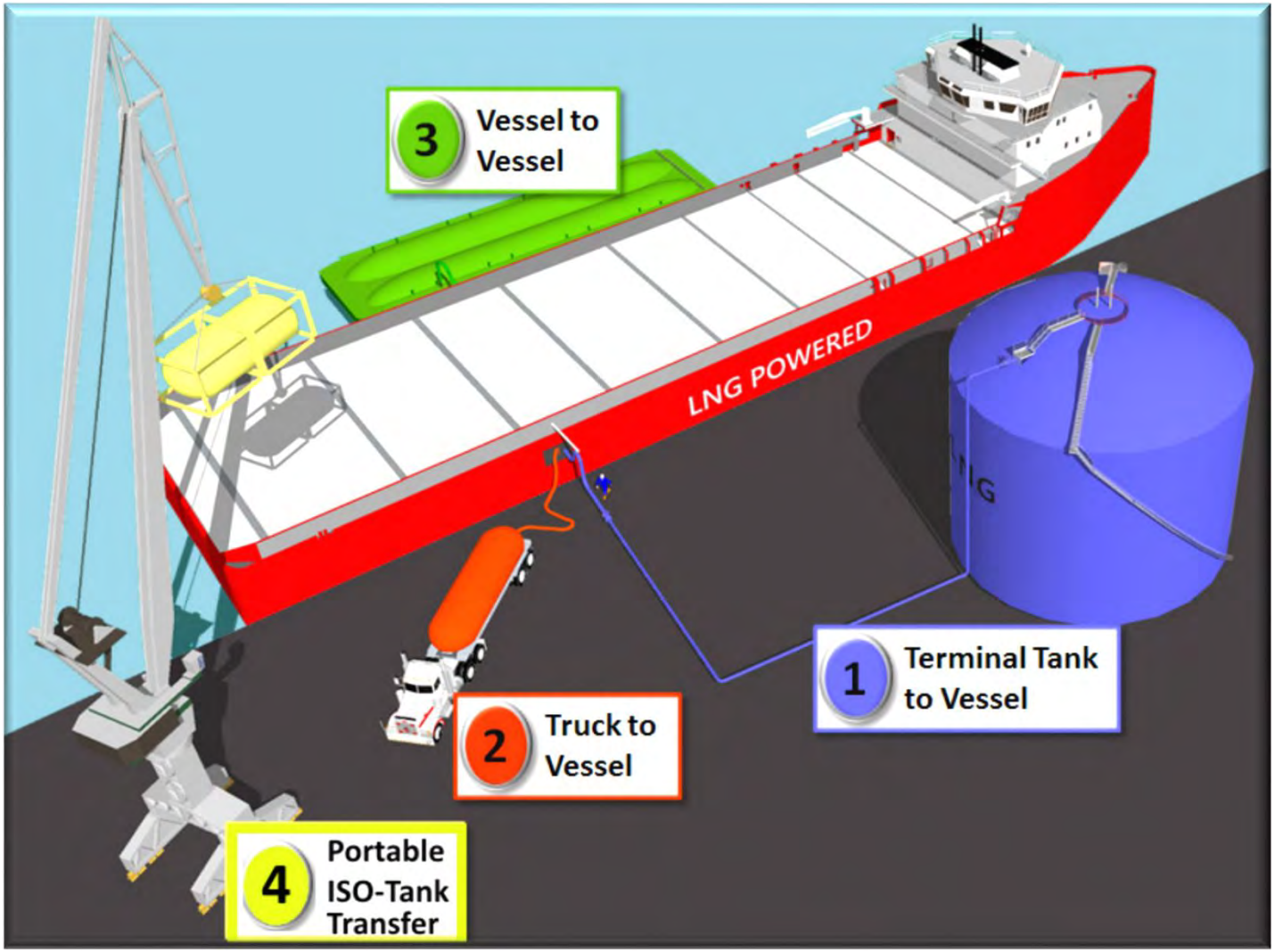
# Retos del cambio. Logística del GNL




- Aproximadamente el 25% de los costes del gas en España para bunker son costes fijos debido a los peajes y logística.

HAY QUE OPTIMIZAR LA LOGÍSTICA DEL GNL PARA BUNKERING

## 3 Bunkering


3 Vessel to Vessel
LNG POWERED
1 Terminal Tank to Vessel
2 Truck to Vessel
4 Portable ISO-Tank Transfer

# Bunker ship to ship (StS)

## Egg Breaker

Rango de Suministro óptimo para demandas entre 60.000 y 380.000 $m^3$/año

# Bunker ship to ship (StS)

**Oizmendi, primer barcaza de bunker operando en España, actualmente en el puerto de Huelva**

**CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES**

| | |
|---|---|
| Eslora: | 73,5 m |
| Manga: | 15 m |
| Puntal: | 4,2 m |
| Capacidad LNG: | 660 $m^3$. |

# Bunker ship to ship (StS)

## RTS-Roro to Ship

**CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS**

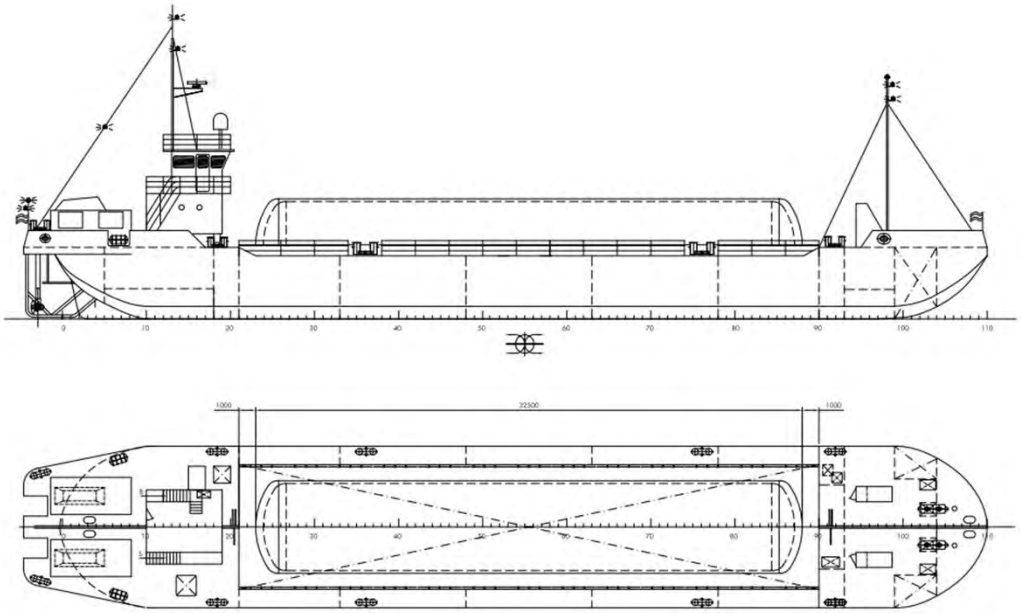
- Suministro desde el lado mar
- 8 Cisternas en paralelo
- Volumen de suministro: 340 $m^3$
- Coste de inversión: 3,5 M€
- Peaje de recarga: 1,12 €/Mwh

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

- Eslora aprox: 65 m
- Manga aprox: 11 m
- Puntal: 4,2 m
- Código: IGC

# Bunker ship to ship (StS)

## Barcaza Low Cost



**CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES**

- ✓ Supply from the sea side
- ✓ Volume of supply: 650 m3
- ✓ CAPEX: 5 M€

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

- ✓ Lenght overall approx: 50 m
- ✓ Beam aprox: 10 m
- ✓ Depth: 3,75 m
- ✓ Flow bunkering rate: 250 $m^3/h$
- ✓ IGC Code

# Índice


1 Reglamentación

2 Soluciones alternativas

3 Bunkering

4 **Reto 2030**

5 Proyectos emblemáticos

Reto 2030

# Límite 2030, Regulación de $CO_2$

## MEPC 72

1. Seguir poniendo en marcha fases adicionales del Energy Efficiency Design Index para seguir mejorando la eficiencia energética de los buques.
2. Alcanzar lo antes posible el pico o máximo de las emisiones totales del transporte marítimo internacional y reducirlas al menos en un 50% para 2050 respecto a los niveles de 2008.
3. Reducir las emisiones de $CO_2$ por unidad de transporte (t x milla) del transporte marítimo internacional en promedio al menos en un 40% para 2030 respecto a los niveles de 2008.

# El Camino a 2030…

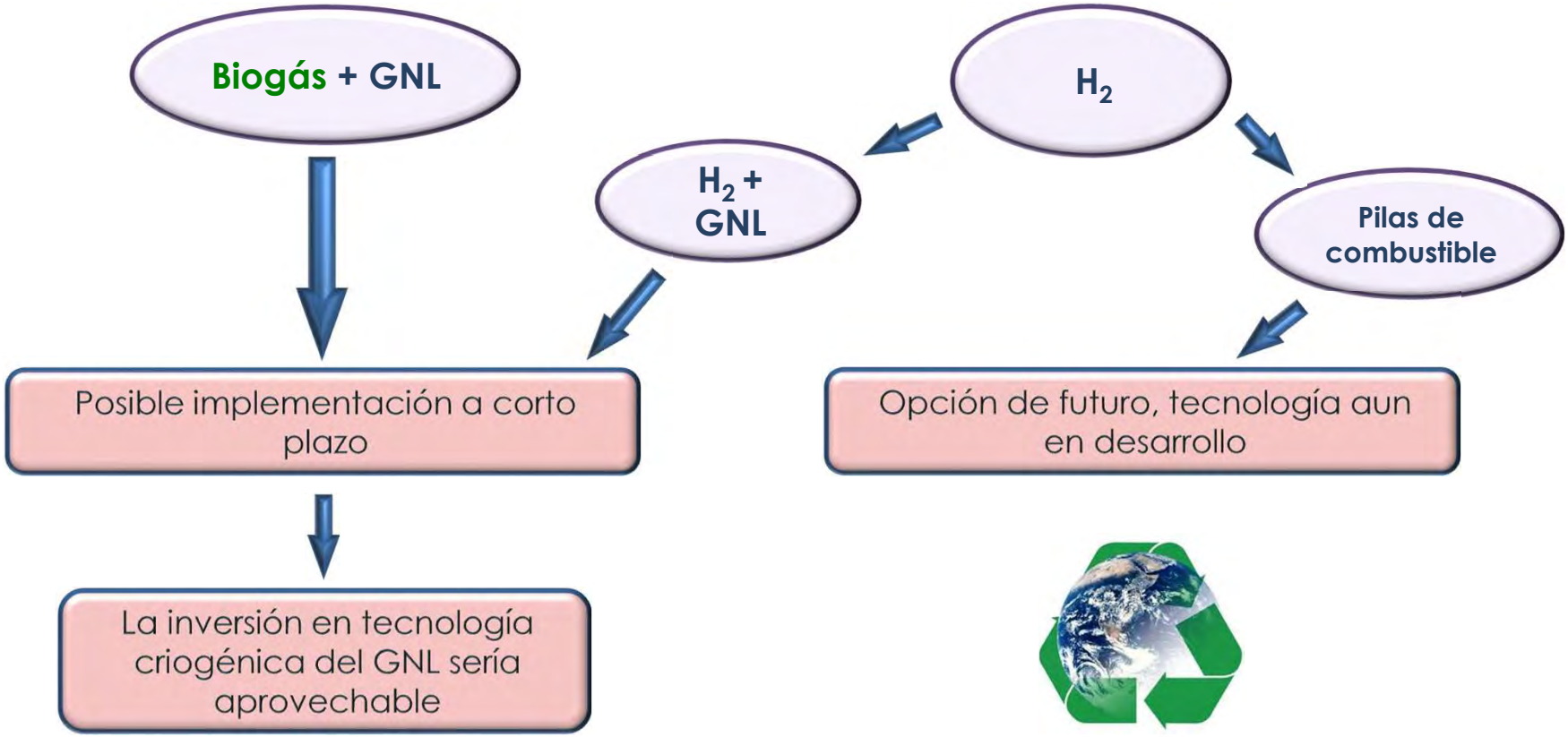
## EFICIENCIA ENERGÉTICA

**Elementos tradicionales**

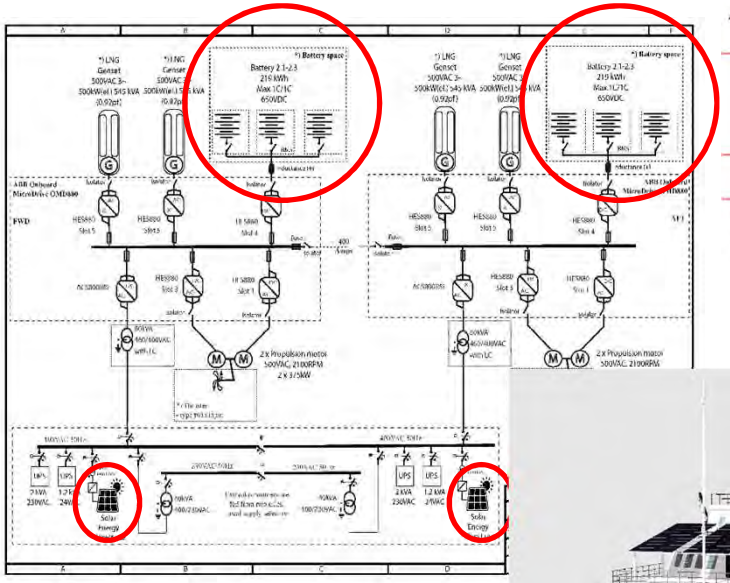
- Casco / Formas
- Recubrimientos
- Hélices
- Timones
- …..

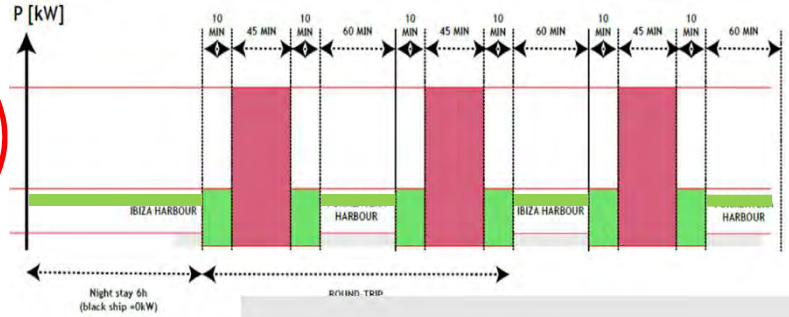
**Estamos estudiando** → **RECUPERACIÓN ENERGÍA TÉRMICA MOTORES GNL**

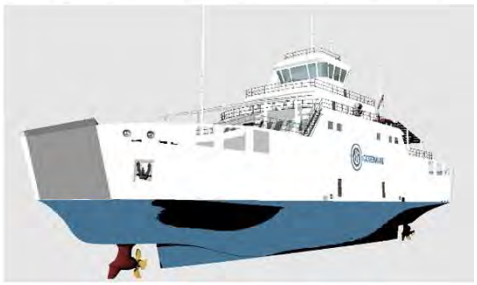
# El Camino a 2030…



# El Camino a 2030…







Reducción adicional de emisiones de $CO_2$ del 7%

# Índice


1 Reglamentación

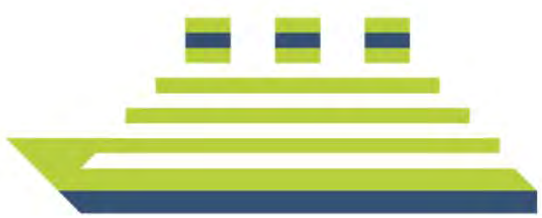
2 Soluciones alternativas

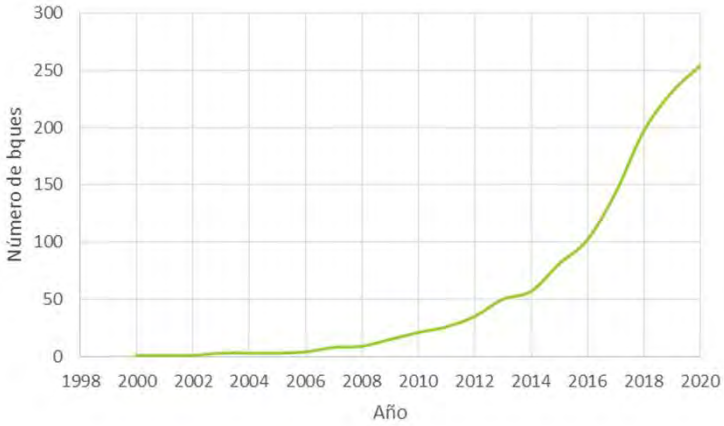
3 Bunkering

4 Reto 2030

5 **Proyectos emblemáticos**

# Barcos GNL en el mundo



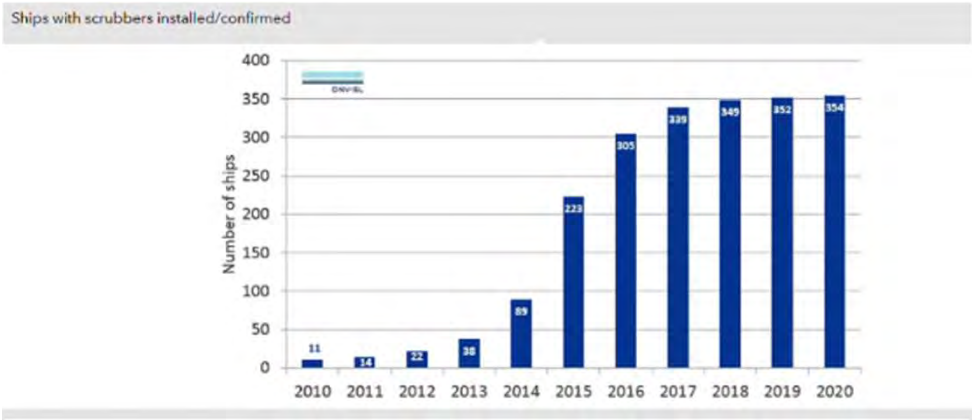



**163**

2017

**206**

Forecast for 2020
(+87%)




LNG Ships in the world

## Abel Matutes

- Instalación de un motor a gas y todos los equipos auxiliares en una caseta en cubierta 8.
- Instalación de un tanque para GNL de 30m³. Autonomía del motor, 1 semana.
- Planta de tratamiento de gas de suministro a motor en cubierta 8 (Cubierta intemperie)
- Motor totalmente integrado en la planta eléctrica del buque.
- Posibilidad de realizar bunker por las dos bandas, con suministro mediante camiones cisterna.
- **El barco está completamente operativo en el puerto de Barcelona**

## Proyectos emblemáticos NACIONALES

### Abel Matutes

## Resultados KPI proyecto Abel Matutes

| N | KPI | DESCRIPCIÓN | UNIDADES | VALOR OBJETIVO | VALOR REAL |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S | Seguridad operación | Accidentes / h | ≤ 0,05 | 0 |
| 2 | F | Fiabilidad | Fallos / h | ≤ 0,10 | 0 |
| 3 | $\Delta Ef_{GN}$ | Variación de eficiencia | % | ≥ -25,00 | -6,19 |
| 4 | $A_{GN}$ | Ahorro de combustible | % | ≥ 25,00 | 35,76 |
| 5 | M | Incremento costes mantenimiento | € / h | ≤ 0,33 | 0 |
| 6 | $\Delta dB_{GN}$ | Reducción de ruido | % | ≥ 10,00 | 17,05 |
| 7 | $\Delta CO_{2_{GN}}$ | Reducción emisiones $CO_2$ | % | ≥ 15,00 | 56,46 (reduction de 1.292,17 t) |
| 8 | $\Delta NO_{X_{GN}}$ | Reducción emisiones NOx | % | ≥ 10,00 | 86,01 (reducción de 19,07 t) |
| 9 | $\Delta SO_{X_{GN}}$ | Reducción emisiones SOx | % | ≥ 90,00 | 99,38 (reducción de 1,9 t) |
| 10 | $\Delta PM_{GN}$ | Reducción Partículas | % | ≥ 99,00 | 100 (reducción de 0,48 t) |

## Proyectos emblemáticos NACIONALES

# Nuevas construcciones “Ferries Visentini”

**CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES**

| | |
|---|---|
| Eslora: | 186,5 m |
| Manga: | 25,6 m |
| Velocidad: | 24 knots |
| Metros Lineales: | 2.180 m.l. |
| Pasajeros: | 810 personas |
| Coches: | 170 coches |

**CARACTERÍSTICAS GENERALES:**

3 grupos generadores auxiliares (1 dual)
2 alternadores de cola
1 grupo de emergencia
2 motores duales de propulsión: 20.600 kW
GNL
Paneles Solares

**PLANTA DE GAS:**

Gas Natural Licuado (GNL)
2 tanques de almacenamiento sobre cubierta: 165 $m^3$/tanque
Tanques de GAS IMO Tipo C

5

## Proyectos emblemáticos NACIONALES

# "Eleanor Rosevelt"

**CARACTERÍSTICAS GENERALES:**

| | |
|---|---|
| Eslora total (con apéndices): | 123.3 m |
| Eslora entre perpendiculares: | 118.8 m |
| Manga: | 28.0 m |
| Pasajeros: | 1200 |
| Carga rodada: | 570 m.l. camiones + 257 turismos |
| Potencia propulsores: | 4 x 8800 kW |
| Velocidad de servicio: | 35 kn |
| Astillero Constructor | Armón Gijón |
| Sociedad Clasificación: | Bureau Veritas |

## "ASD DUAL FUEL" Astillero Gondan

- 3 unidades de este buque,

**CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES**

| | |
|---|---|
| Eslora total: | 40,20 m |
| Manga: | 16 m |
| Velocidad: | 15 knots |
| Bollard Pull: | 100 t |
| Pasaje: | 5 |

**CARACTERÍSTICAS GENERALES:**
- 2 motores principales: Wärtsilä 6L34DF
- 2 x 3000 Kw a 750 r.p.m.
- LNG Pack de Wärtsilä

**CAPACIDADES:**
- Agua dulce32 $m^3$
- Espuma 19,20 $m^3$
- Fuel Oil 236,70 $m^3$
- Oil recovery 266 $m^3$
- GNL (30 $m^3$ 90% llenado)

## AIDA está construyendo 9 cruceros a GNL

## AIDA Nova entrega en Otoño 2018, astillero Meyer

**CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES**

Arqueo: 183,000 GT
2700 camarotes

Motores Dual Fuel MaK M46DF
3 tanques tipo C de 1200 $m^3$/tanque.

## Tres portacontenedores para CMA-CGM

**CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES**

Tanques de LNG Membrana = 18,000 $m^3$
Capacidad de Carga= 22,000 TEU
Astilleros= Hudong-Zhonghua Shipbuilding (Group), Shanghai Waigaoqiao Shipbuilding, and China Shipbuilding Trading Co. (CSTC).

## Proyectos emblemáticos INTERNACIONALES

# W340 Barentshav / W341 Bergen / W342 Sortland

**CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES**

| | |
|---|---|
| Eslora: | 92 m |
| Manga: | 16 m |
| Puntal: | 6,10 m |
| Velocidad: | 16,5 knots (gas)<br>18,5 knots (diesel)<br>>20 knots (combinado) |
| Desplazamiento: | 3.251 t |

**PROPULSIÓN:**
Bergen Diesel B32 1 x 4000 kW
3 x Mitsubishi GS16R–MPTK
1 x Mitsubishi GS12R-MPTK
1 x Mitsubishi S6A3-MPTA 350 kW (auxiliar)
Total Mitsubishi GS16/12:=3237 kW

**ARMAMENTO:**
Boffors 40 mm

# Proyectos emblemáticos INTERNACIONALES

## Catamarán Francisco

**CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES**

| | |
|---|---|
| Eslora: | 99 m |
| Manga: | 26,94 m |
| Pasajeros: | 1.000 |
| Coches: | 150 |
| Puntal: | 6,65 m |
| Velocidad: | 58,1 knots |
| Gross Tonnage: | 7.109 GT. |

**PROPULSIÓN:**
Turbinas gas GE Energy LMN 2.500
2 X 22 MW

**CAPACIDAD:**
2 x 70.000 l (fuel oil)
2 x 1.240 l (fuel oil generadores)
2 x 40 $m^3$ (GNL)

# Proyectos emblemáticos INTERNACIONALES

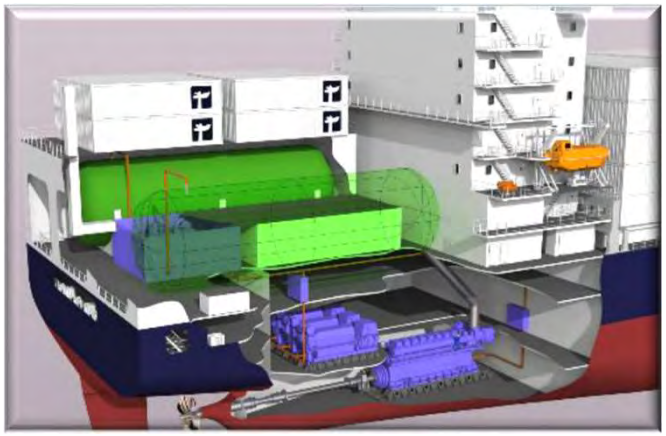
## AS Tallink Grupp & Meyer Turku Oy

**CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES:**

| | |
|---|---|
| Eslora: | 212 m |
| Pasajeros: | 2.800 |
| Gross Tonnage: | 4.900 GT |

## Primeros Portacontenedores a GNL

- TOTE tiene en cartera los primeros portacontenedores con propulsión GNL con motor MAN 8L70ME-CE.2GL y eslora de 233 m .



**Capacidad:** 3.100 TEU's
**Velocidad:** 22 nudos

## Proyectos emblemáticos INTERNACIONALES en desarrollo

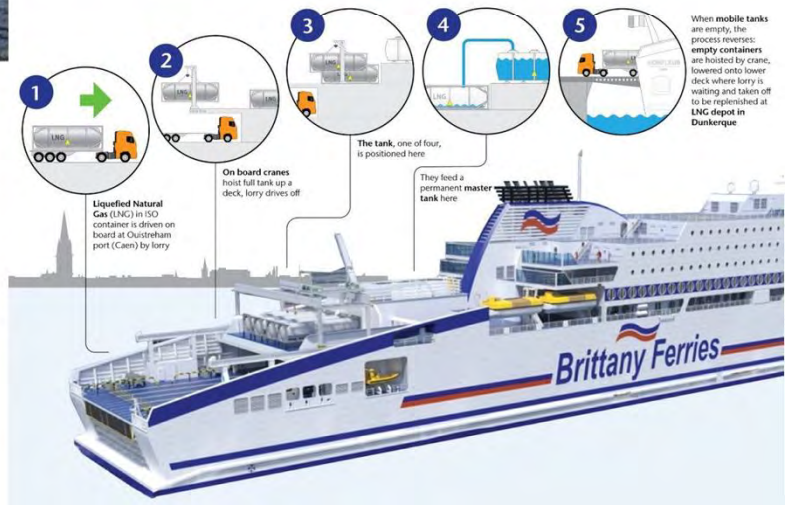
# Brittany Ferries. Astillero Flensburger (En cartera)

**CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES**

| | |
|---|---|
| Eslora: | 185 m |
| Pasajeros: | 1.680 |
| Coches: | 2.600 m.l. |

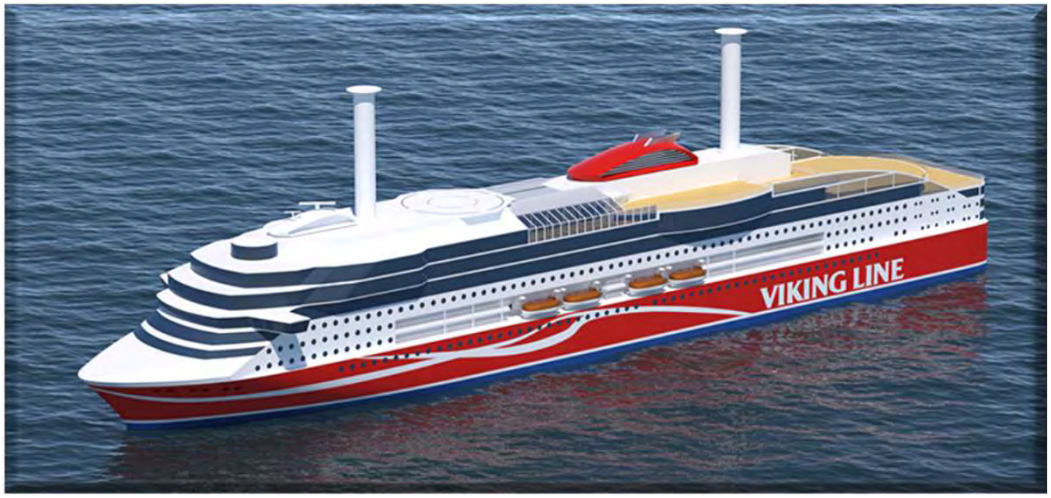
**PROPULSIÓN:**
**Powered by LNG**
**SRTP**
**Dual Fuel**

Delivering fuel to Brittany Ferries Honfleur



## Proyectos emblemáticos INTERNACIONALES en desarrollo

# Viking Grace. Xiamen Shipbuilding Industry (XSI)




**CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES**

| | |
|---|---|
| Eslora: | 218 m |
| Pasajeros: | 2.800 |
| Coches: | 1.500 m.l. |
| Velocidad: | Ro-pax high speed |

jpoblet@cotenaval.es

www.cotenaval.es

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

12:15 - 14:15

**SESIÓN 5 Track A. NZEB y MOVILIDAD**
Modera: David de Diego

"Retos medioambientales en el transporte marítimo, soluciones energéticas". **José Poblet.** Gerente. **COTENAVAL**

"LNGonwheels, una propuesta innovadora de suministro de GNL a pequeña y mediana escala en zonas de difícil acceso" **Miguel Duvison Santiago.** Lng Project Manager. **NATURGY**

"Protocolo de energía del Ayuntamiento de Barcelona: regulación local nZEB de los edificios municipals" **Christian Escrig Pérez.** Técnico en Eficiencia Energética. **AYUNTAMIENTO DE BARCELONA**

"El coche electrico y su papel en la descarbonización" **Javier Tomás.** Director Universidad Corporativa. **POWER ELECTRONICS**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# LNGonwheels , una propuesta innovadora de suministro de GNL a pequeña y mediana escala en zonas de difícil acceso

Miguel Duvison Santiago

Naturgy

aee The Association of Energy Engineers Spain Chapter

# Índice

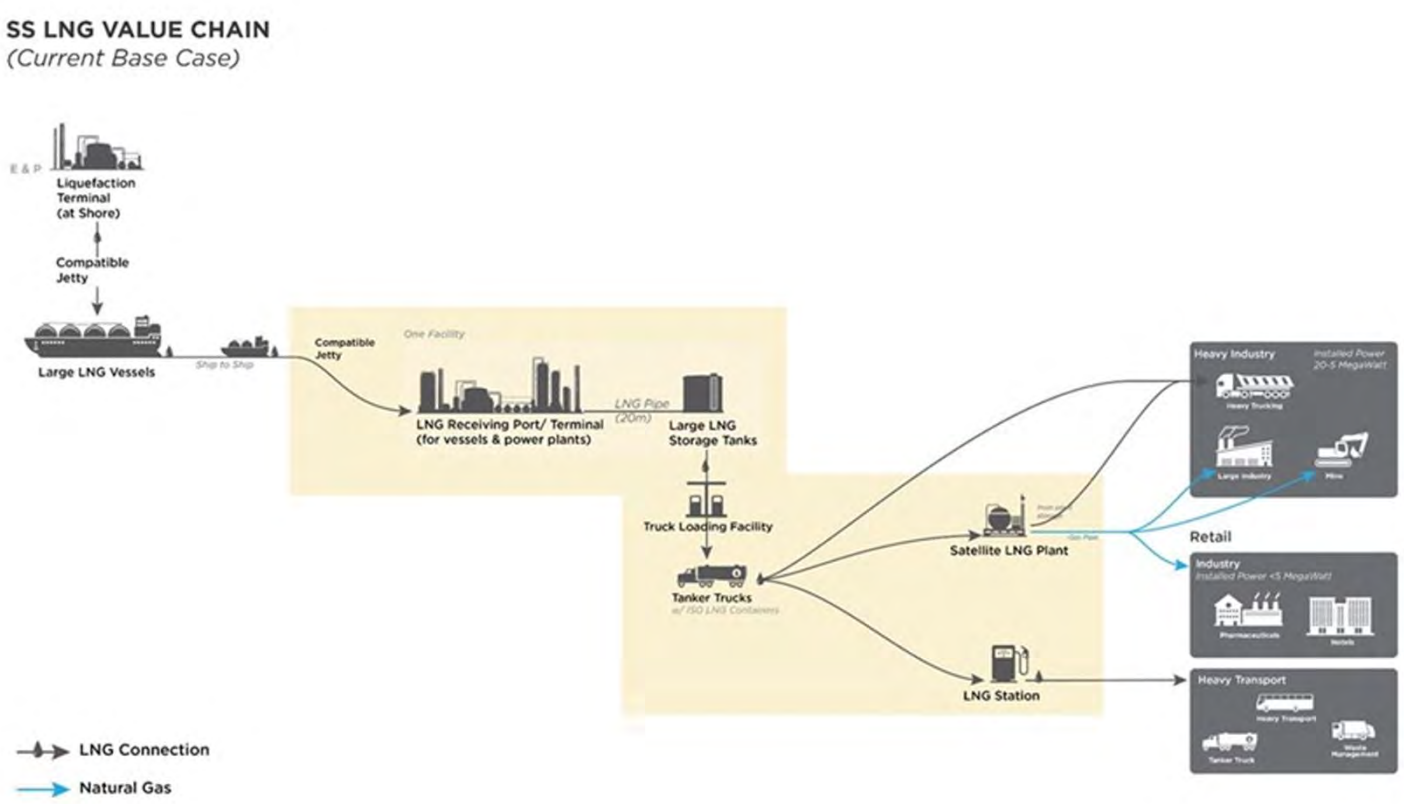

1 La cadena de valor antes y después de LNGoW

2 Elementos constitutivos de la solución

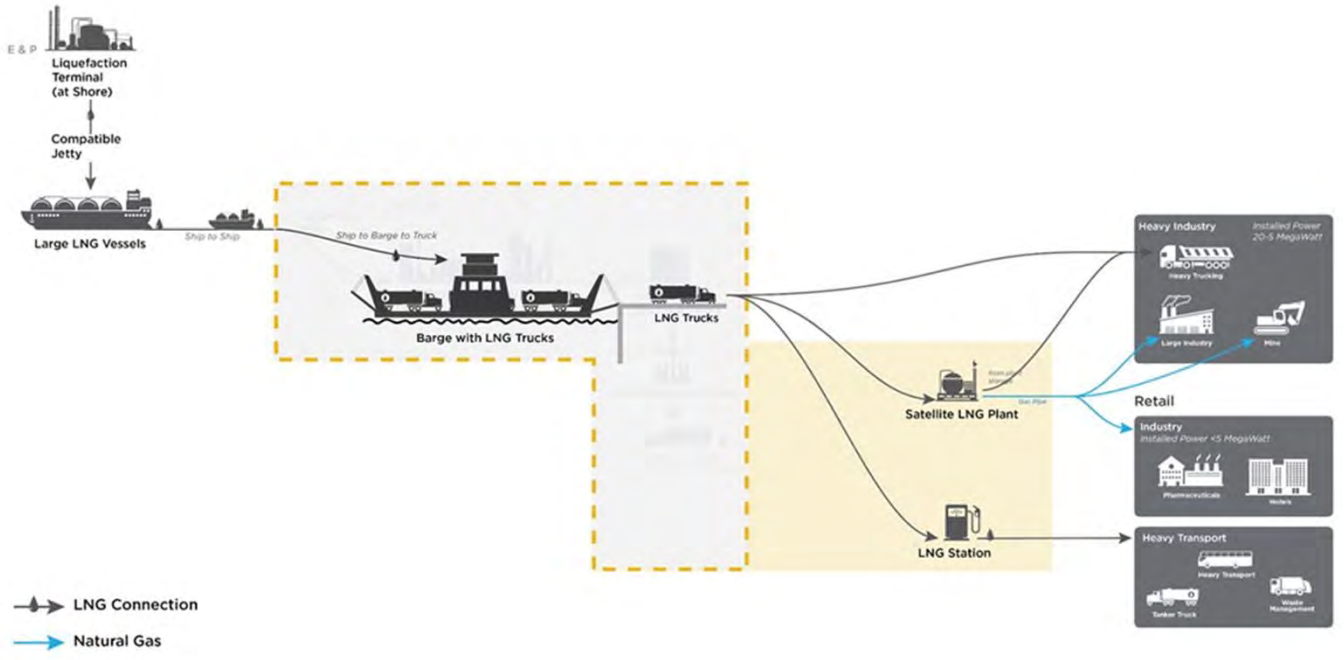
3 *LNG Truck Carrier*

4 Conclusiones

La cadena de valor del GNL de pequeña escala antes de **LNGonwheels**



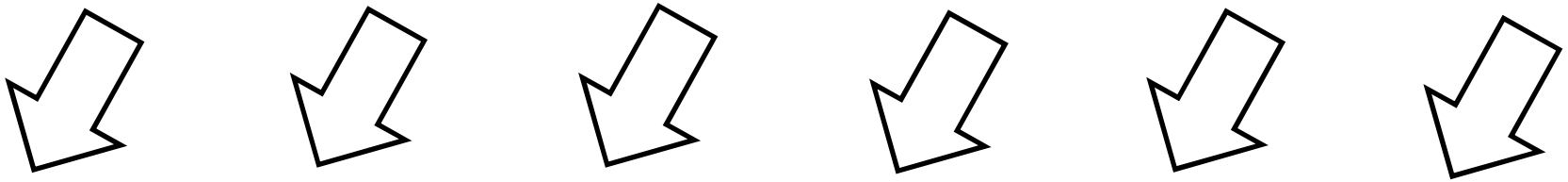
La cadena de valor del GNL de pequeña escala después de **LNGonwheels**



## LNGonwheels

Solución de suministro y distribución de GNL altamente optimizada, orientada a eliminar la barrera existente para aquellos clientes de pequeño y mediano tamaño que no pueden acceder a soluciones convencionales dada su inviabilidad económica.

---



Emplazamientos remotos o de difícil acceso

Bajos calados

Mínimas infraestructuras en puerto

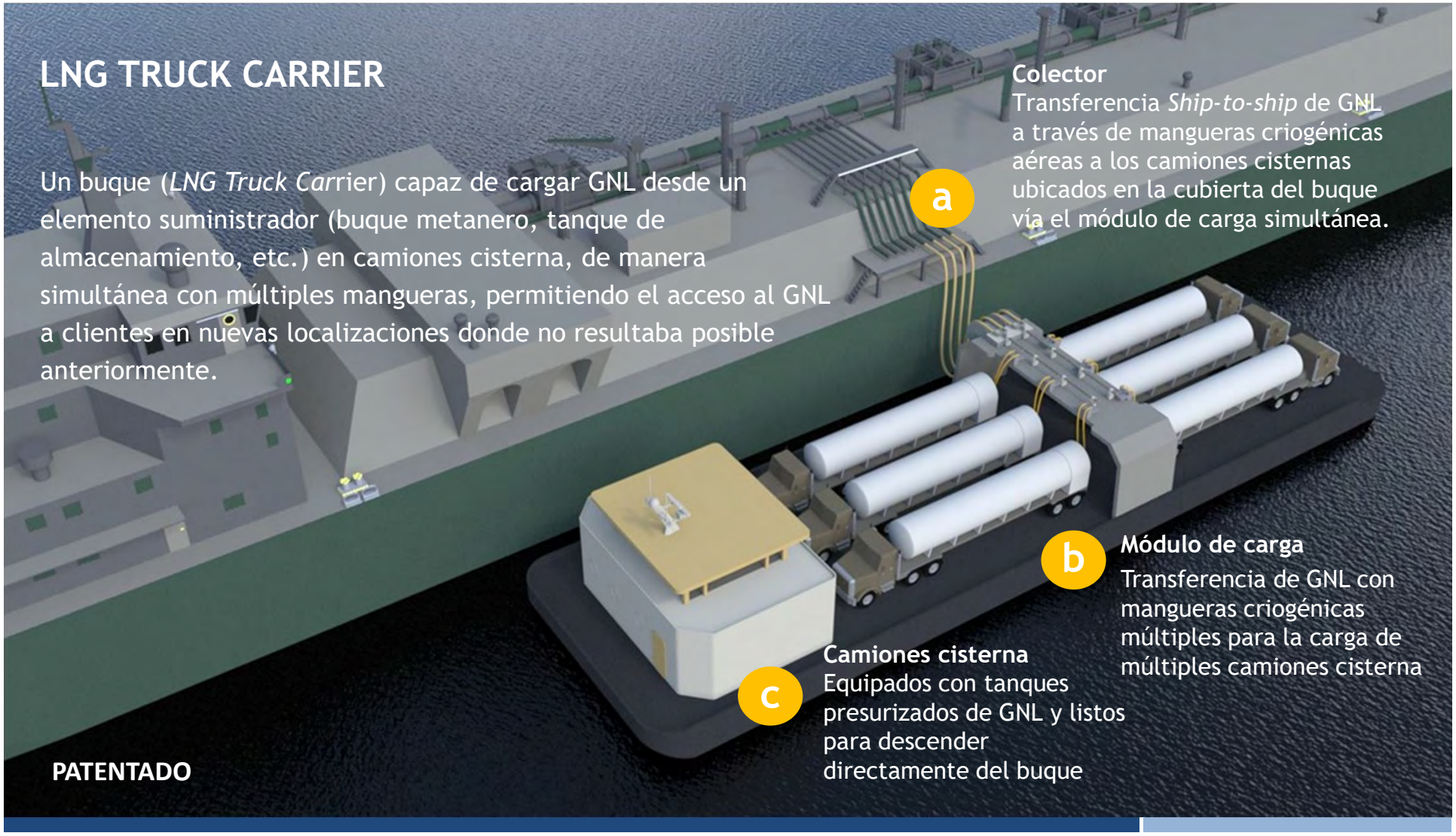
Fácilmente escalable, capacidad de distribución multipunto

Modular

Ajustado a la demanda del cliente final

# LNG TRUCK CARRIER

Un buque (*LNG Truck Carrier*) capaz de cargar GNL desde un elemento suministrador (buque metanero, tanque de almacenamiento, etc.) en camiones cisterna, de manera simultánea con múltiples mangueras, permitiendo el acceso al GNL a clientes en nuevas localizaciones donde no resultaba posible anteriormente.

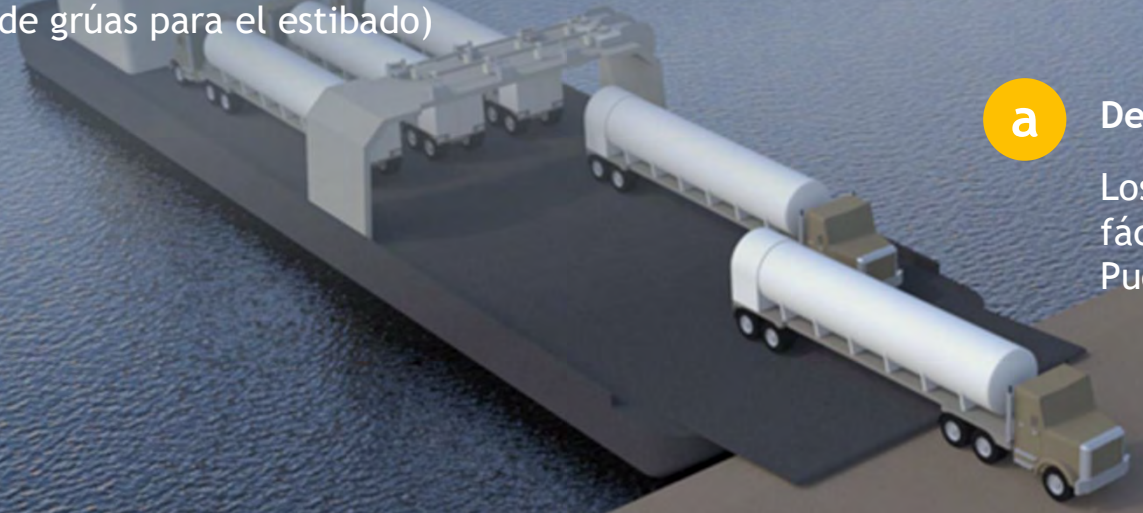



**PATENTADO**

# II Congreso Internacional Ingeniería Energética

# DESCARGA EN CUALQUIER PUERTO

El *LNG Truck Carrier* puede atracar en cualquier Puerto (requerimientos de calado menos exigentes → menor profundidad exigida / sin necesidad de grúas para el estibado)



**a** **Descarga de las cisternas del buque**

Los camiones cisterna descenderán fácilmente del buque a través del Puerto con una mínima infraestructura

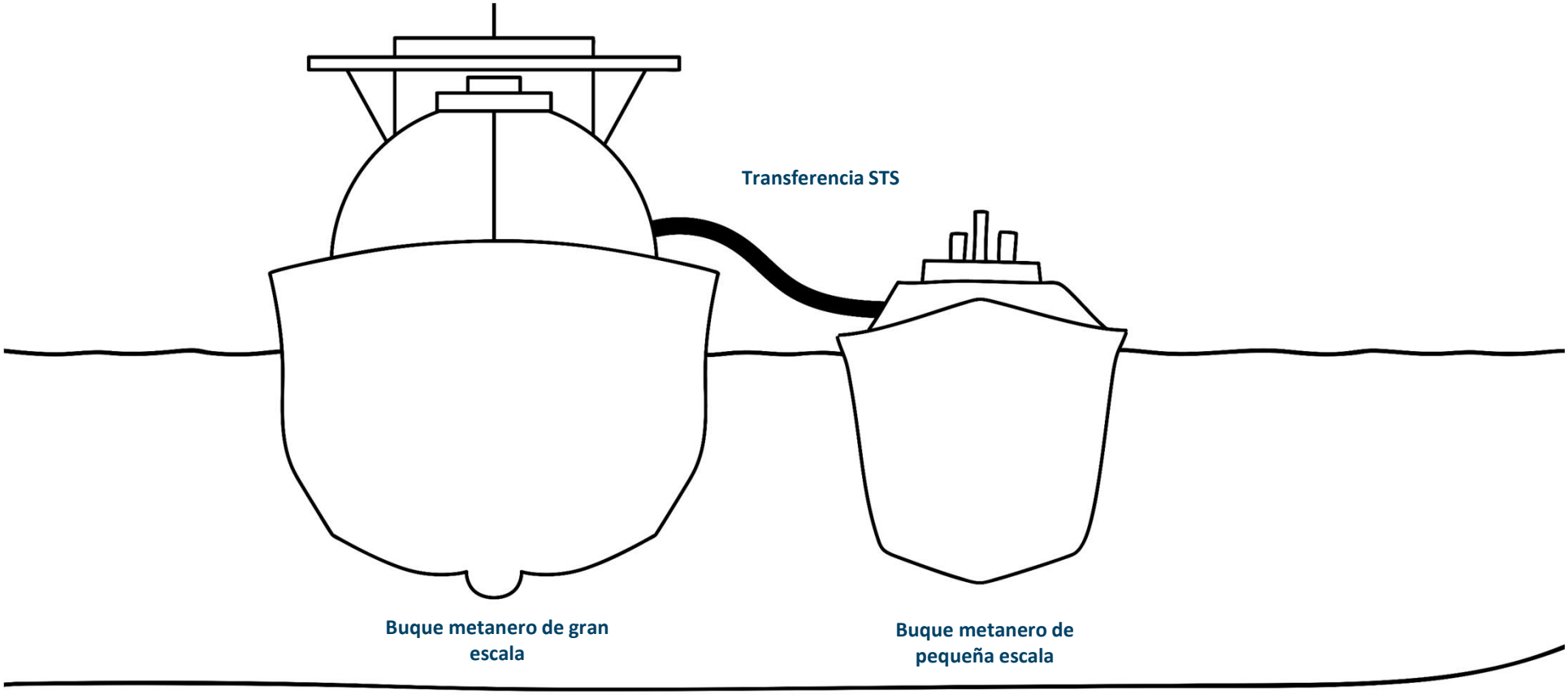
**La solución ha obtenido el *Approval in Principle* (AiP) de la Sociedad de Clasificación *American Bureau of Shipping* (ABS), referencia mundial en este ámbito.**

**PATENTADO SISTEMA**

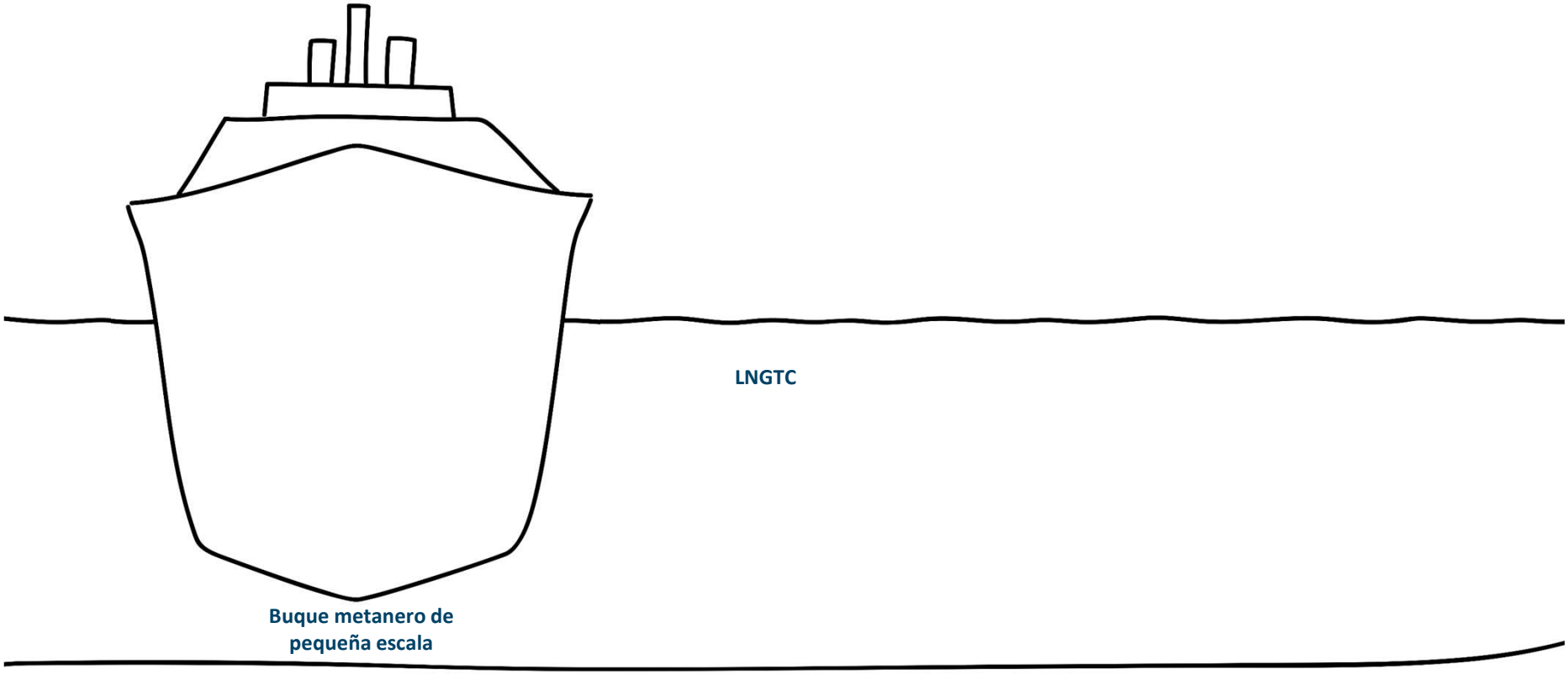
# II Congreso Internacional Ingeniería Energética

# II Congreso Internacional Ingeniería Energética

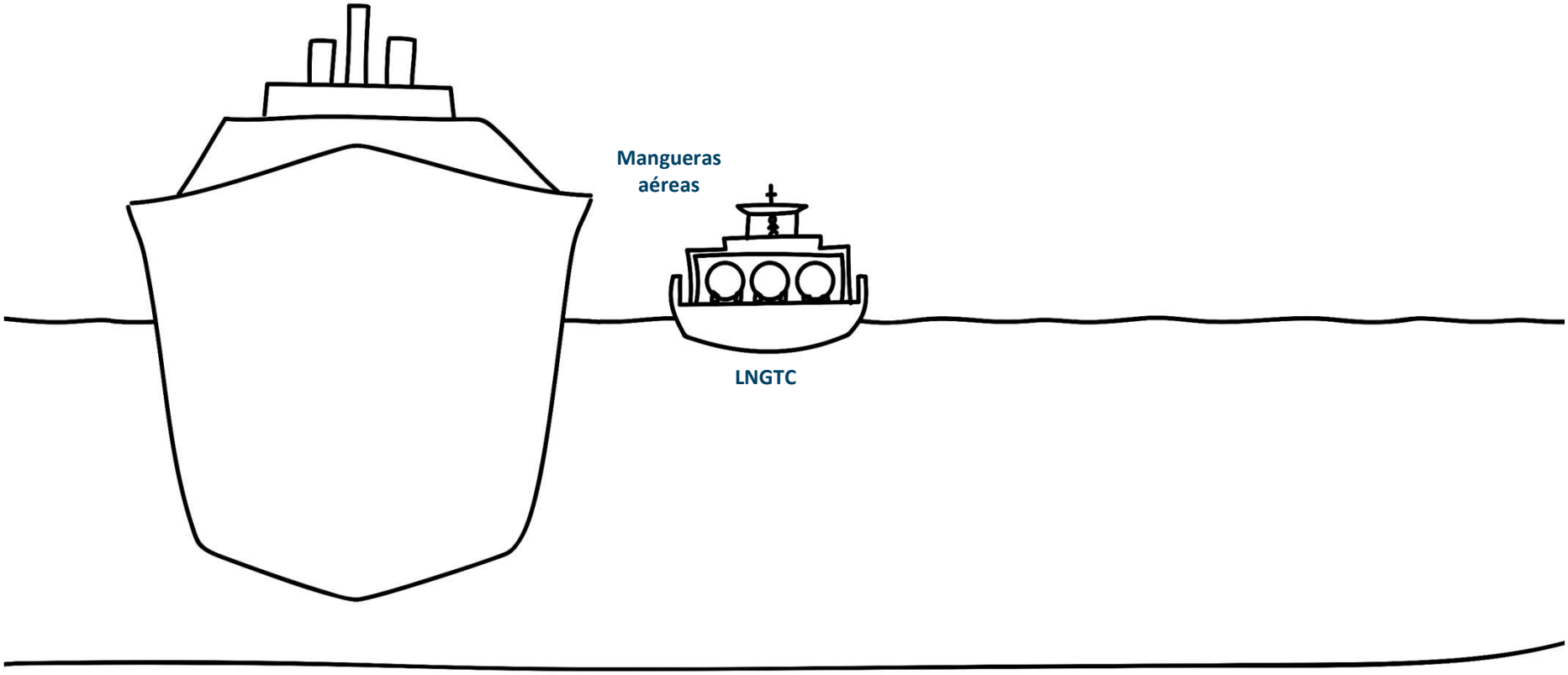
LNGonwheels



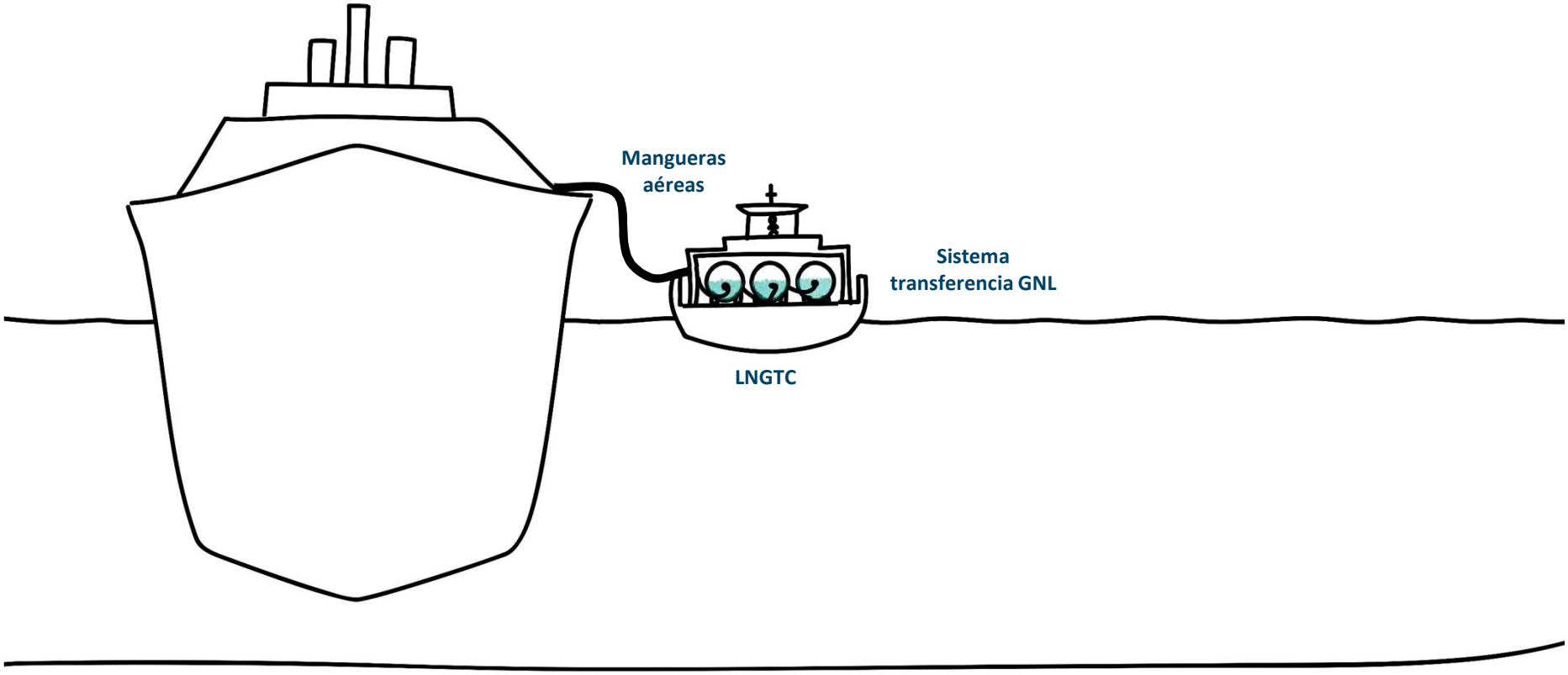
## LNGonwheels



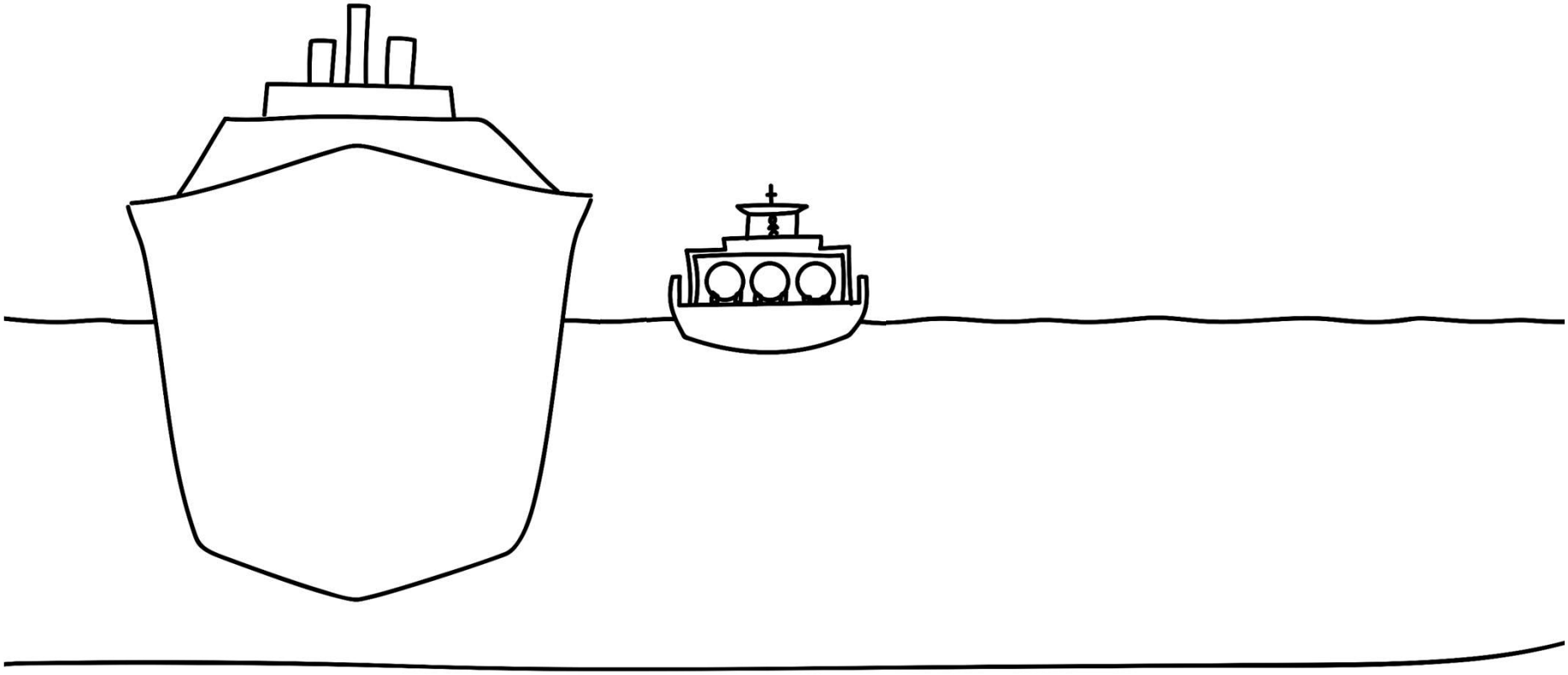
# LNGonwheels



# LNGonwheels

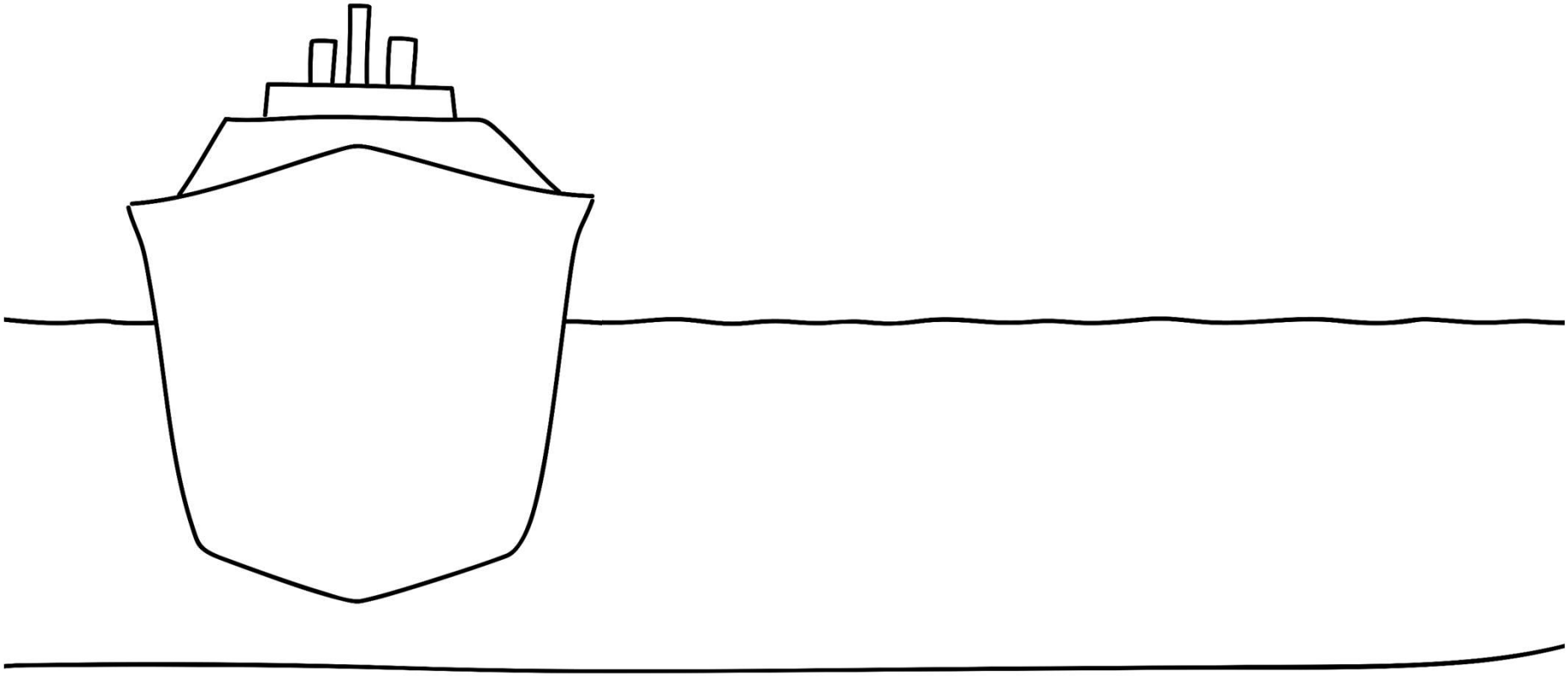


# LNGonwheels



II Congreso Internacional Ingeniería Energética

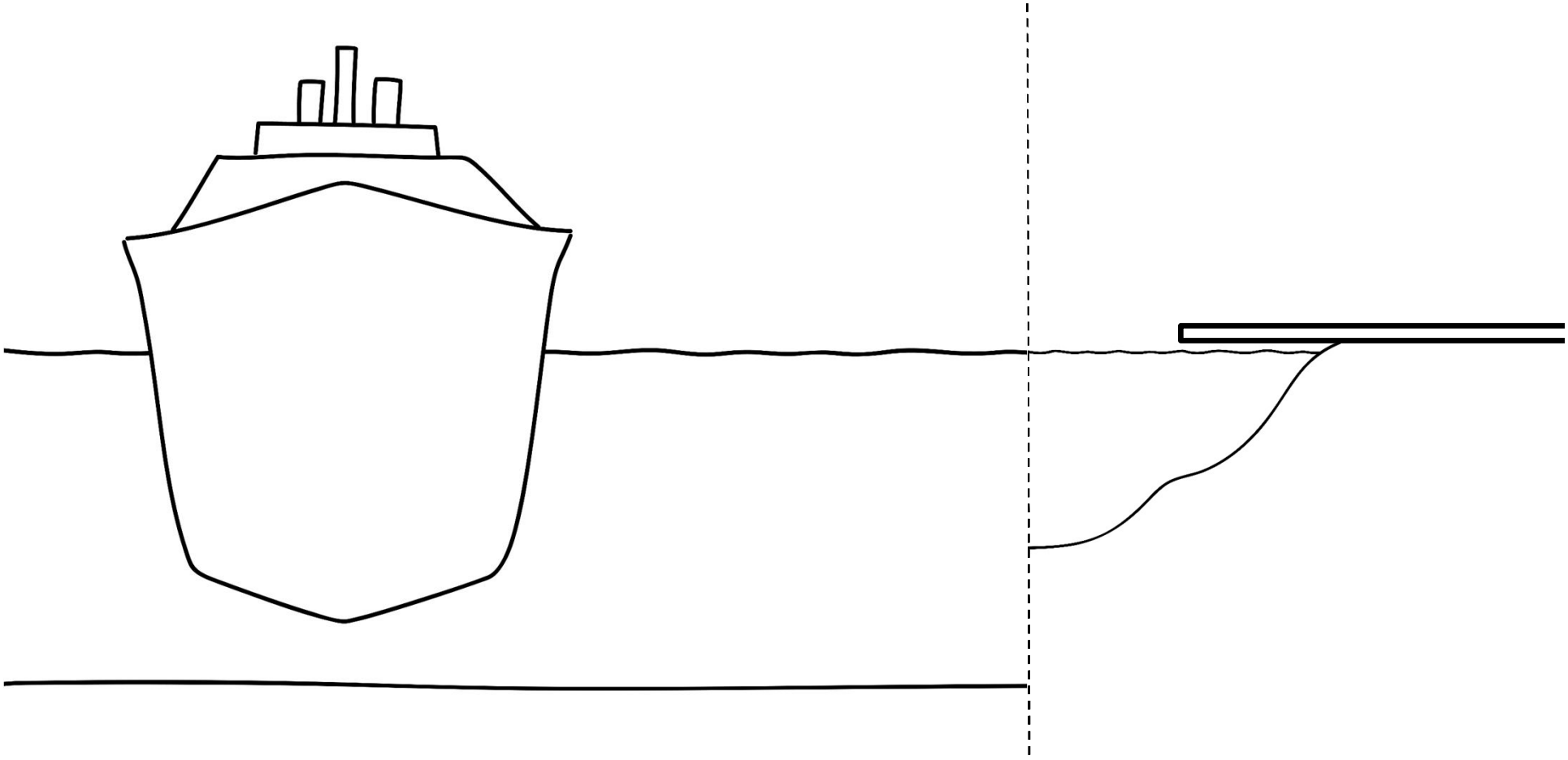
# LNGonwheels



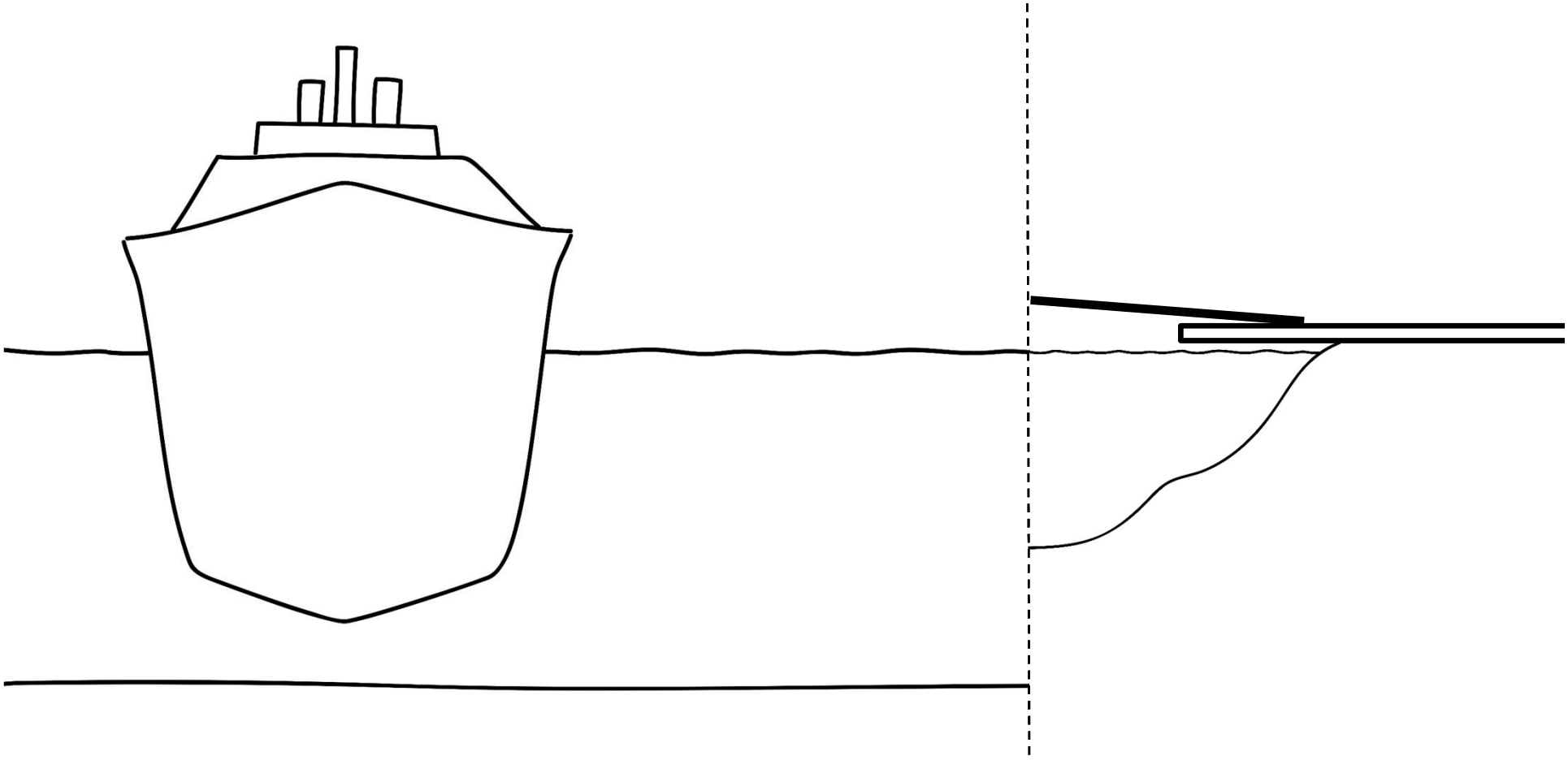
## II Congreso Internacional Ingeniería Energética

Naturgy

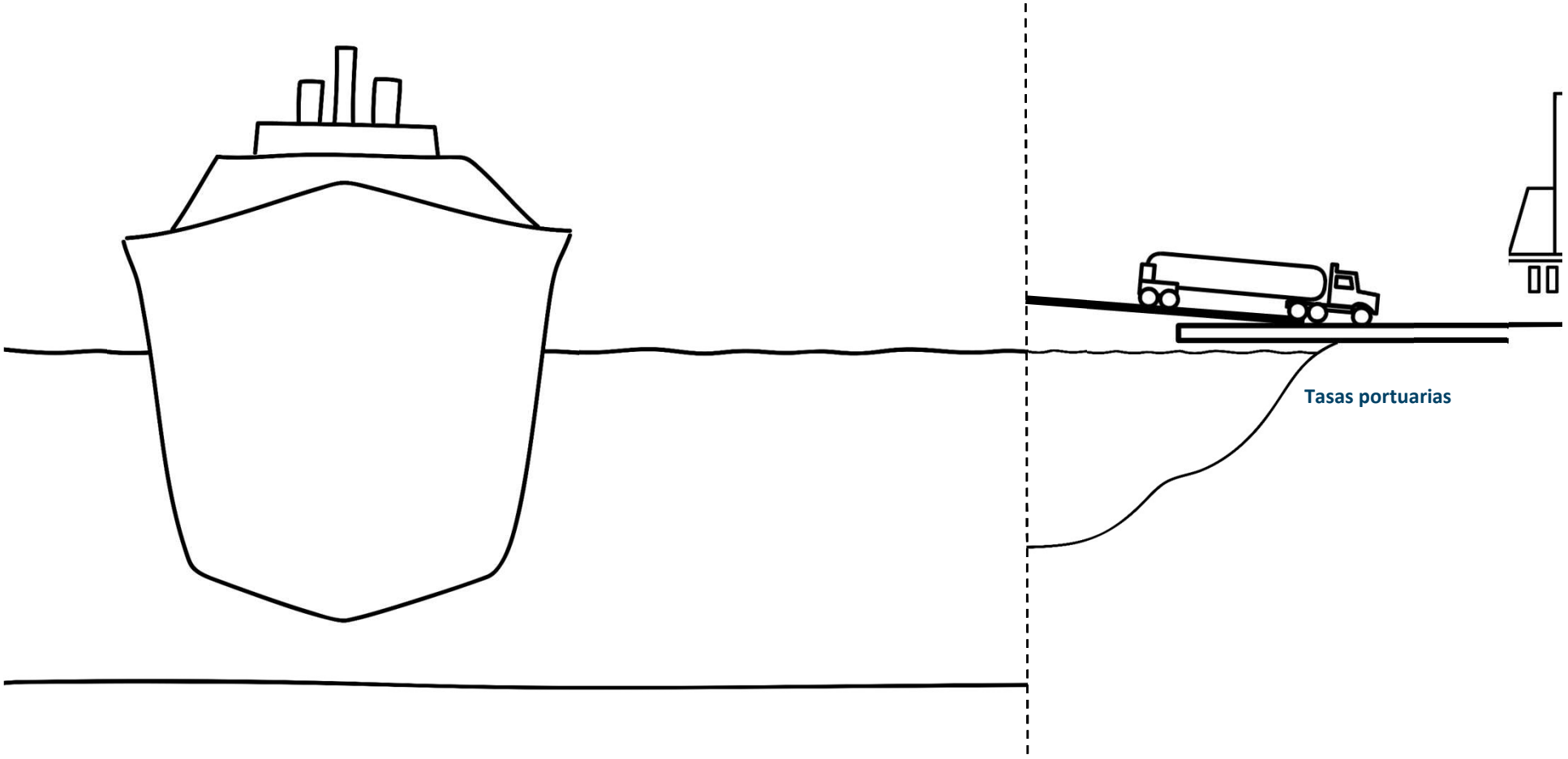
LNGonwheels



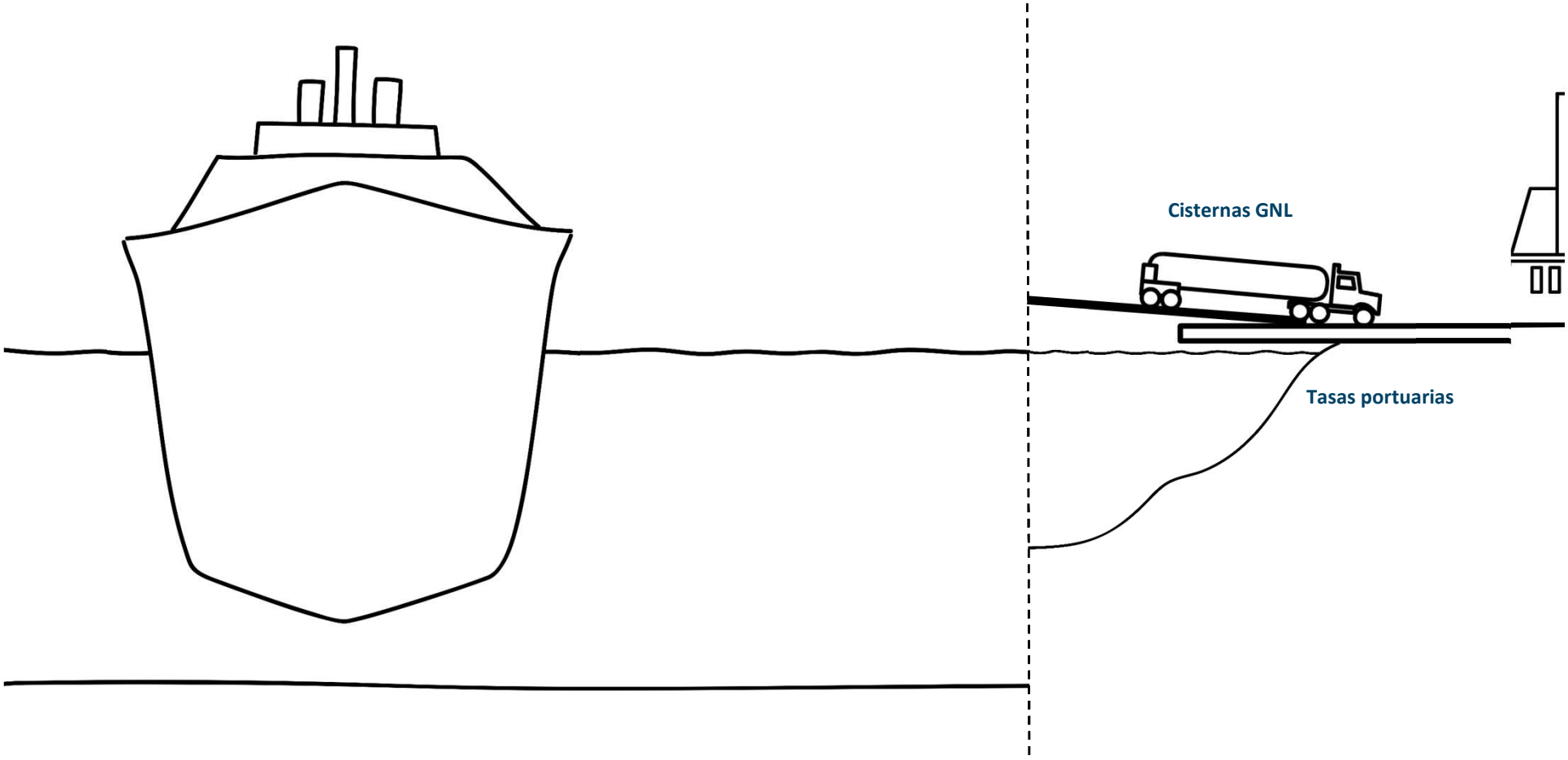
LNGonwheels



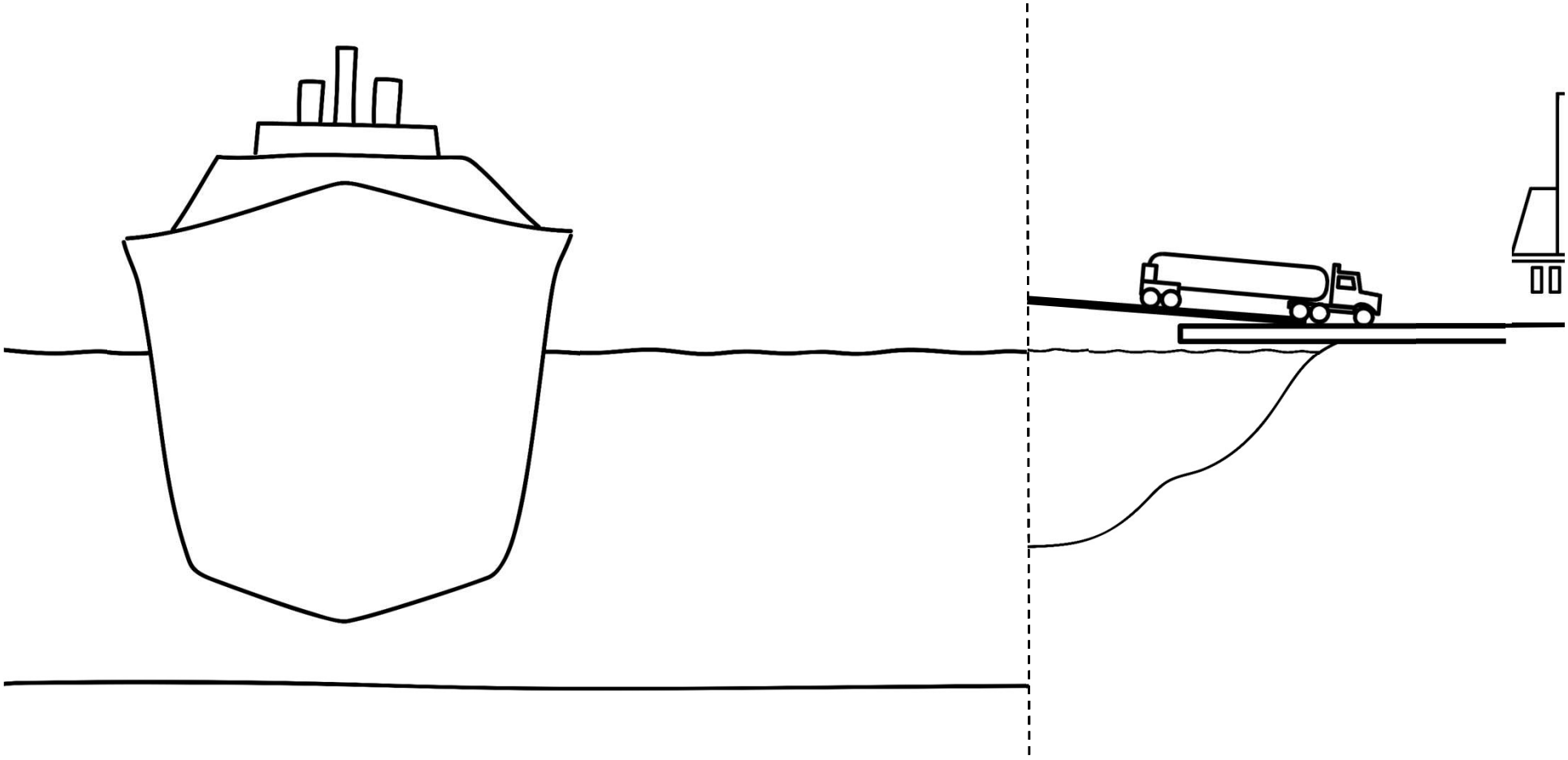
# LNGonwheels



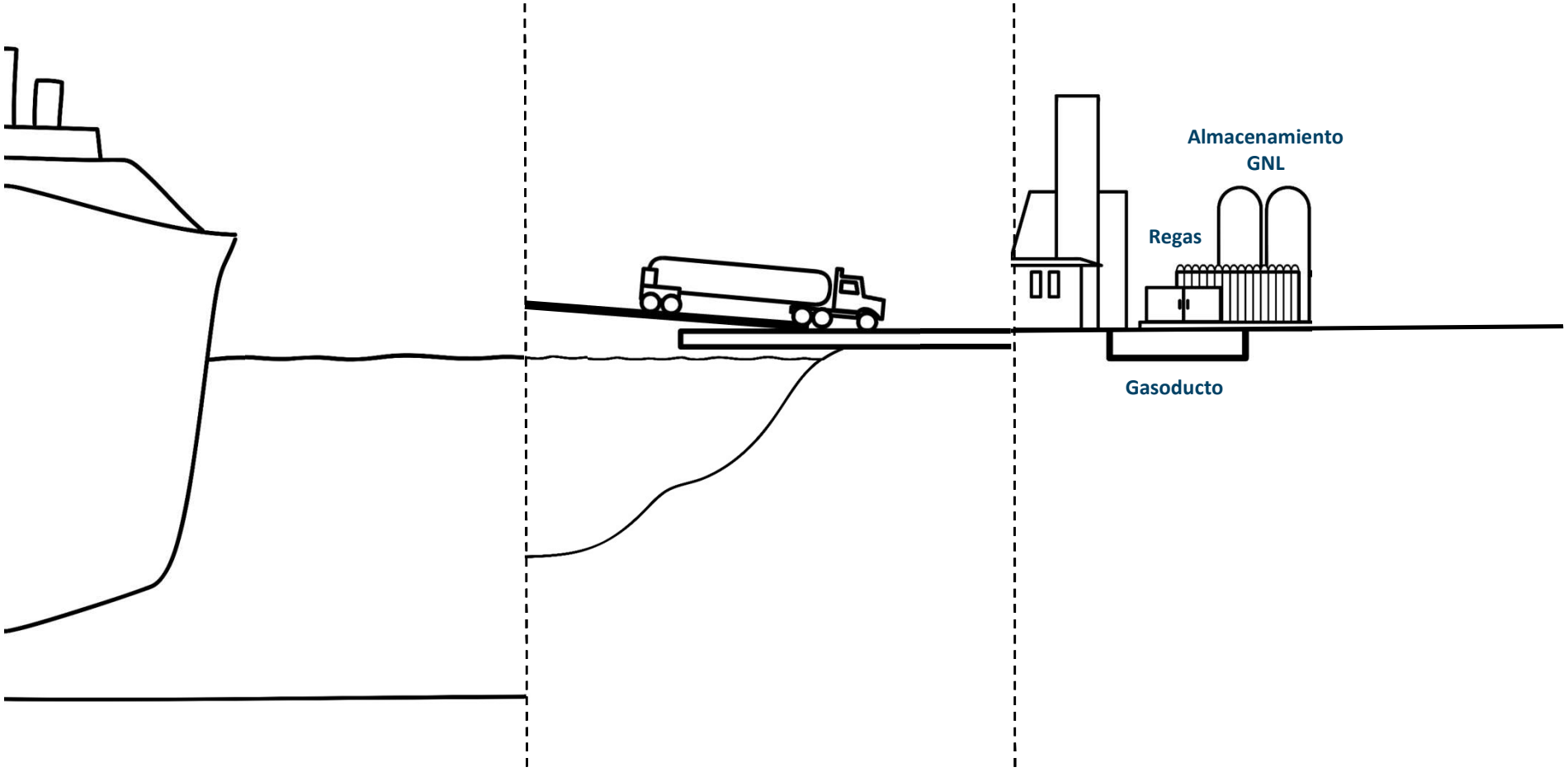
# LNGonwheels



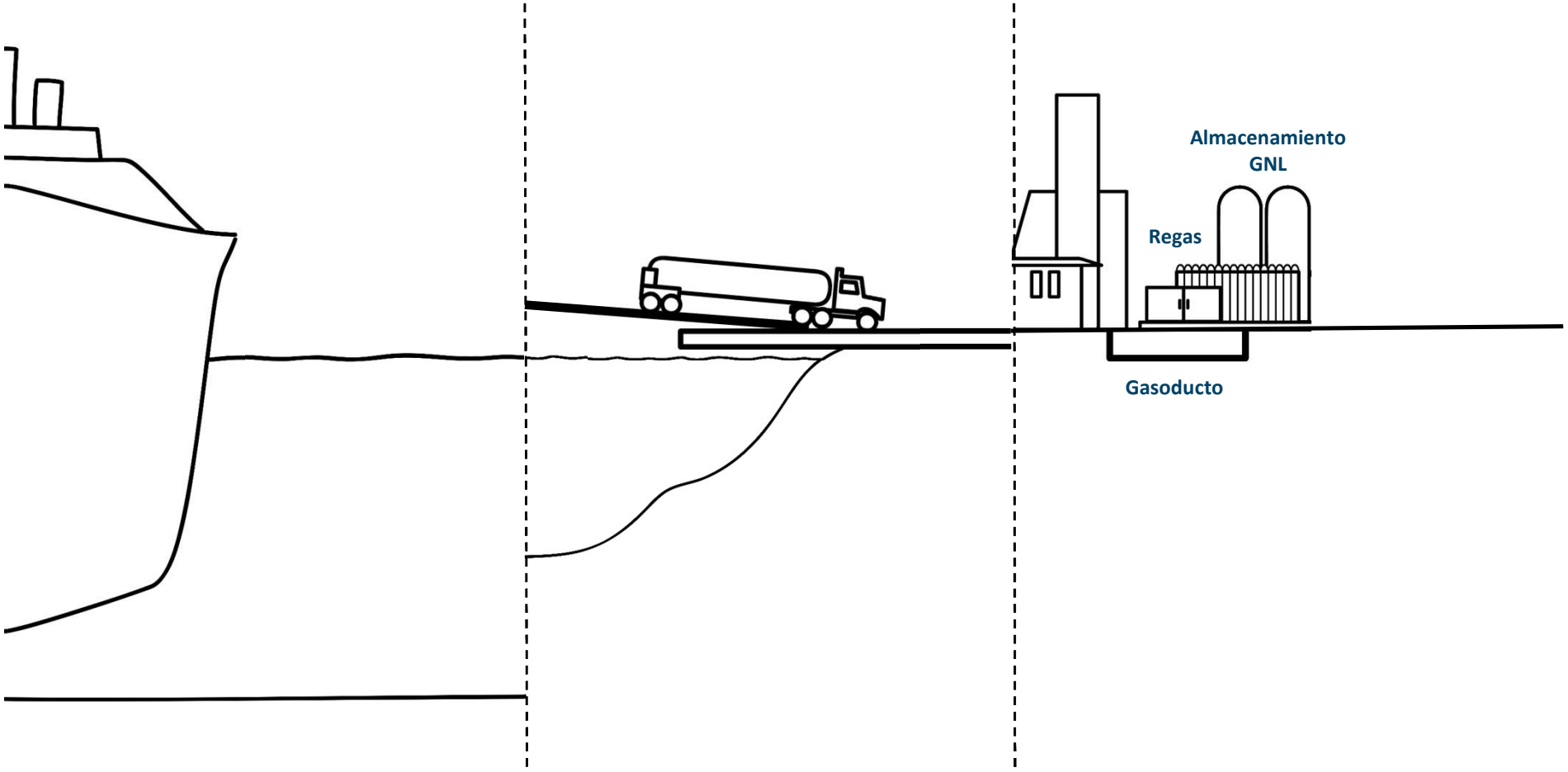
# LNGonwheels



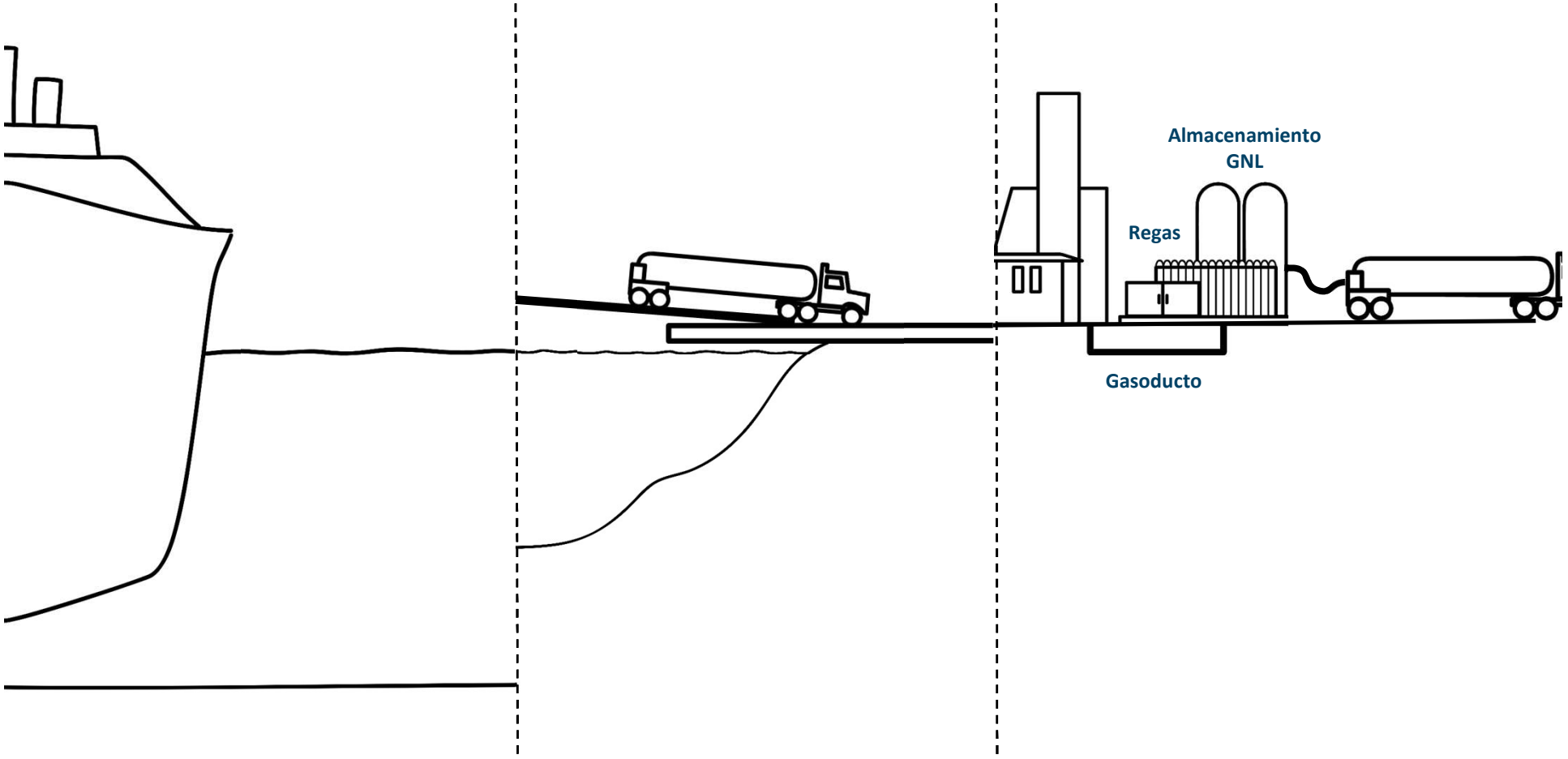
# LNGonwheels



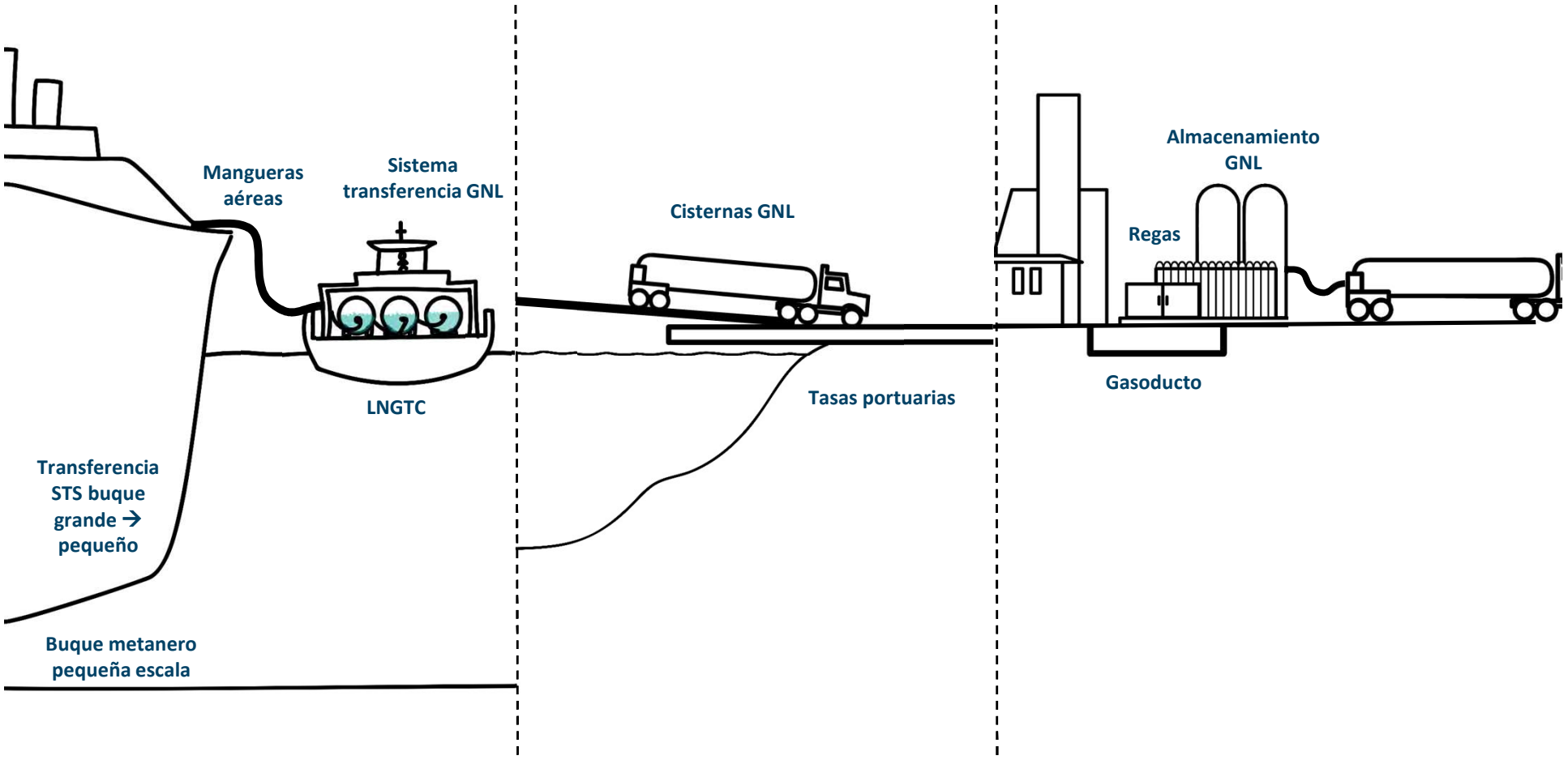
# LNGonwheels



# LNGonwheels

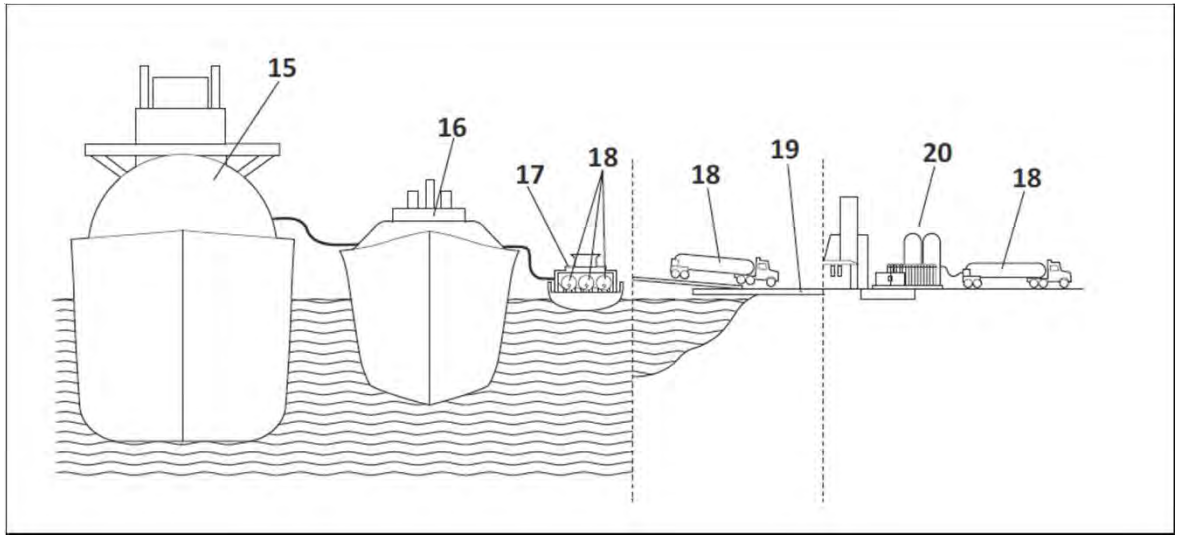


# LNGonwheels



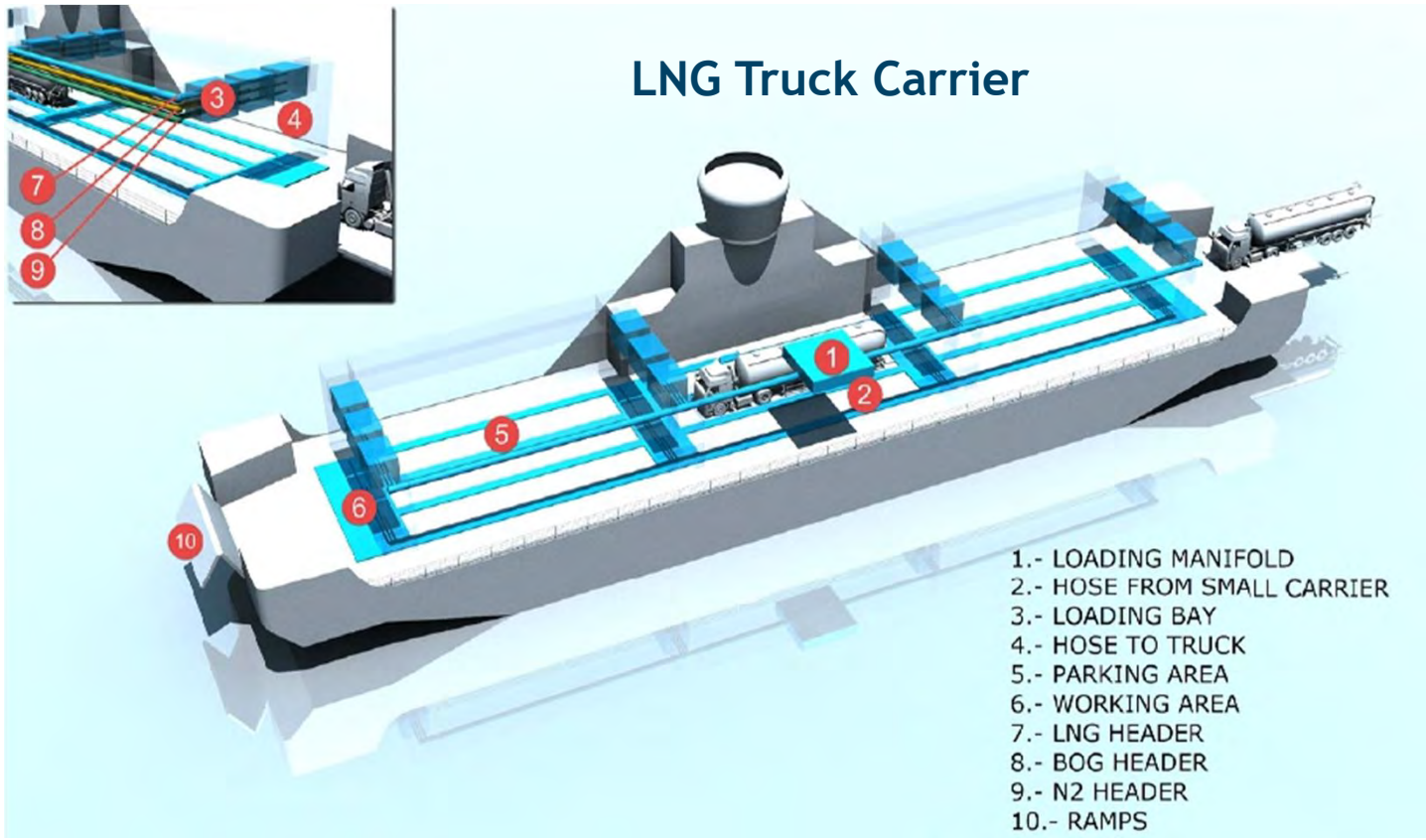
# LNGonwheels

**Cadena logística y de suministro desde el buque metanero de gran escala hasta el cliente final**



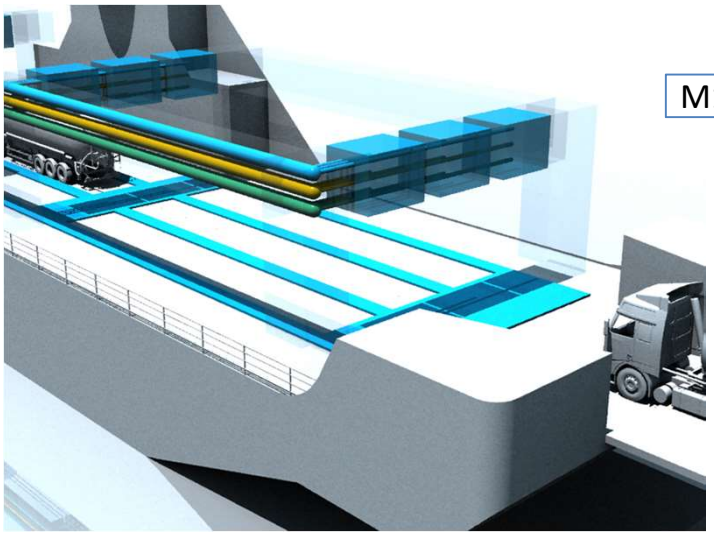

- Buque metanero de gran escala (15)
- Buque metanero de pequeña escala (16)
- LNG Truck Carrier con modulo de carga simultánea(17)
- Camiones cisterna GNL (18)
- Infraestructuras portuarias y muelle de descarga (19)
- Planta satélite en tierra (20)

# LNGonwheels

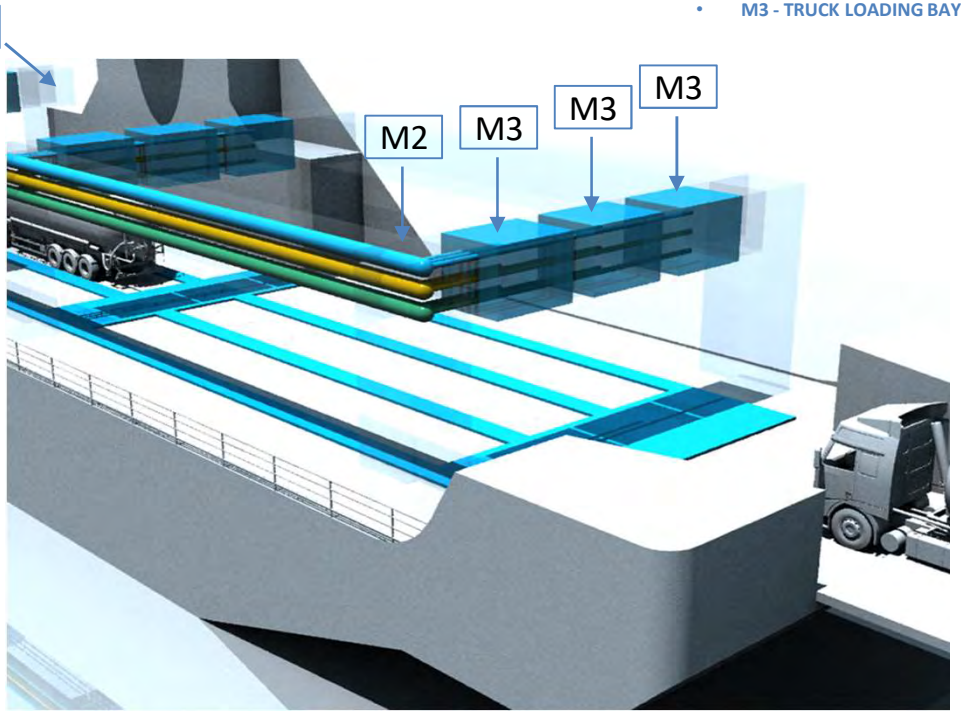



**PATENTADO**

# LNGonwheels



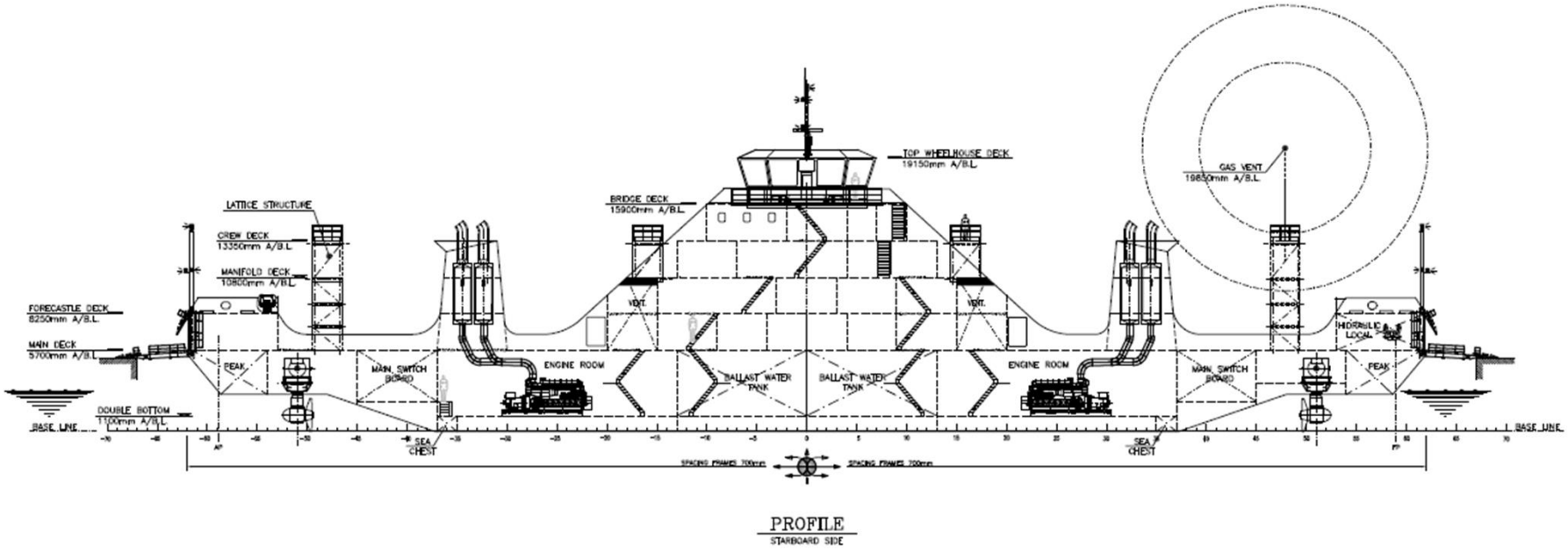
LNG Truck Carrier




- M1 - MANIFOLD
- M2 - DISTRIBUTION
- M3 - TRUCK LOADING BAY

LNGonwheels

## LNG Truck Carrier

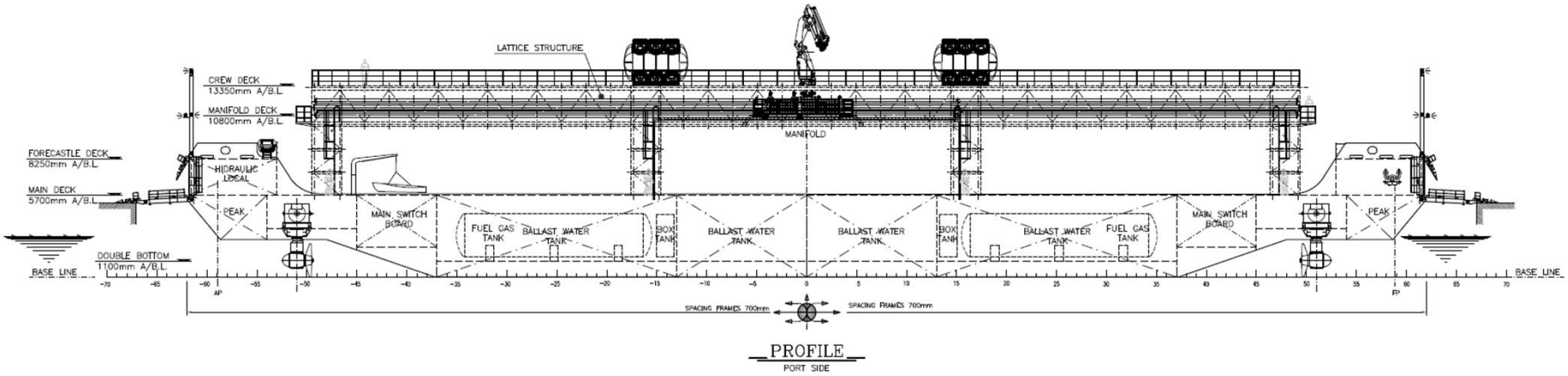





Naturgy

LNGonwheels

## LNG Truck Carrier

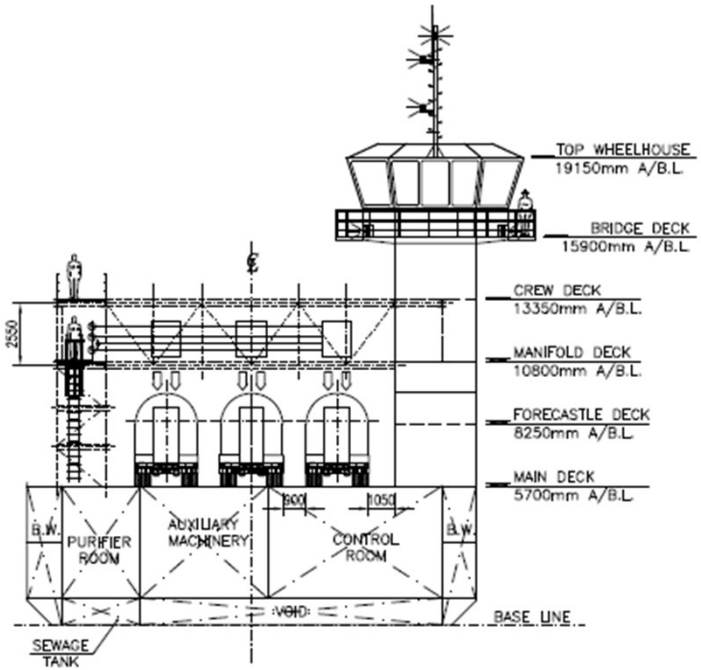




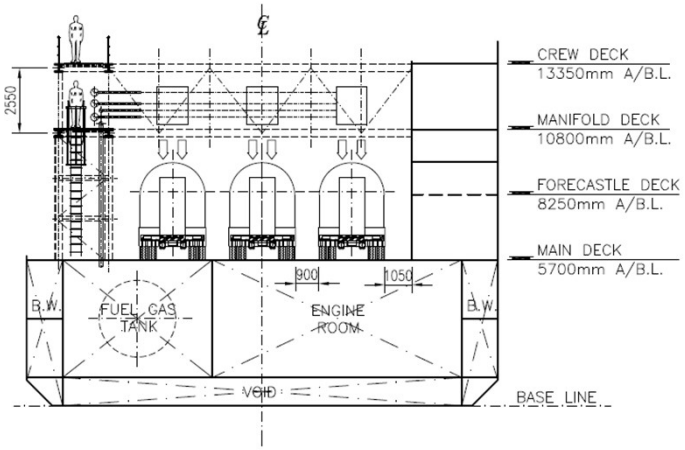

Naturgy

# LNGonwheels

## LNG Truck Carrier



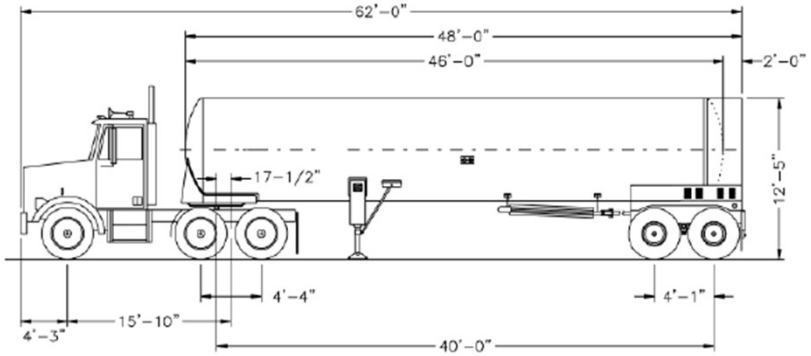

TRANVERSAL SECTION
FRAME 0
LOOKING FORE

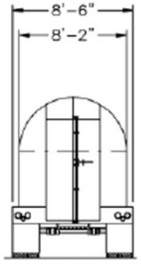



TRANVERSAL SECTION
LOOKING FORE

# LNGonwheels

## Camiones cisterna GNL




Cumpliendo con MC-338
Carga trasera
PPR vs descarga con bomba

| SPECIFICATIONS | |
|---|---|
| LNG Capacity (at 17 psig) | 42,192 lbs / 19,138 kg* |
| LNG Capacity (at 70 psig) | 39,276 lbs / 17,815 kg |
| Maximum Allowable Working Pressure | 70 psig / 4.83 bar |
| Length (overall) | 48 ft / 14.6 m |
| Width (overall) | 8 ft 6 in / 2.6 m |
| Height (overall) | 12 ft 5 in / 3.8 m |
| Weight (tare) | 25,200 lbs / 11,431 kg |
| Design Codes | ASME Section VIII Division 1 |

* Based on US DOT fill density limits; 42,192 lbs of LNG = 11,720 gal @ 3.6 lbs/gal; 17 psig relief device setting.

# LNGonwheels

## LNG Truck Carriers potenciales

TOLL KESTREL

| PRINCIPLE PARTICULARS | |
|---|---|
| Type of ship | Landing Craft |
| Owner | Toll Marine Logistics |
| Port of registry | Gladstone |
| Flag | Australia |
| Classification society | Lloyds |
| Call sign | VJN4054 |
| IMO number | 9656060 |
| Official number | 860486 |
| Builder's identification | NB124 |
| Year built | 2012 |
| Max Complement | 12 people |
| Min Complement | 4 people |

| CONSTRUCTION DETAILS | |
|---|---|
| Length overall | 84.67 m |
| Moulded breadth | 16.5 m |
| Moulded depth | 4.8 m |
| Designed draft | 2.4 m |
| Loaded draft | 3 m |
| Dead weight @2.4m | 1000 tonnes |
| Dead weight @3m | 1500 tonnes |
| GRT | 2045T |
| NRT | 613 T |
| Fresh water | 170m$^3$ |
| Bunker capacity | 250m$^3$ |
| Free deck space | 900 m$^2$ |
| Main Deck Rating | 7.5T/m$^2$ |
| Freshwater/saltwater Ballast water | 1003 m$^3$ |

| CARGO DETAILS | |
|---|---|
| Freshwater cargo | 1200m$^3$ |
| Freshwater cargo discharge rate | 100m$^3$/H @35m |
| Fuel cargo | 484 m$^3$ |
| Fuel cargo discharge rate | 75m$^3$/H @ 40m |

| RADIO & NAVIGATION EQUIPMENT | |
|---|---|
| Auto pilot | Yokogawa PT500A-P-N2 |
| GPS | Furuno GP-150 |
| AIS | Furuno NX-700A |
| Fire alarm system | Tyco T1216 |
| Radar | Furuno FAR-2117-D |
| Telephone system | Huayan CK-1 |
| Rudder indicator | 4x Schottel |
| Compass | Yokogawa Saura SR165 |
| Gyro compass | Yokogawa CMZ900S |
| Echo sounder | Furuno FE-700 |
| Speed and distance log | Furuno DS-80 |
| Communication Equip | GMDSS radio, EPIRB, 2x SART, 3x VHF 2-way radio |

| MACHINERY | |
|---|---|
| Main engine | 2x 895 KW Cummins Kta38 M2 |
| Main propulsion | 2x Schottel SRP550 |
| Bow thruster Schottel pump jets | 2X 210 KW Cummins QSL-9 2x Schottel SPJ57RD |
| Gen-sets | 2x 195KW 6090John Deere |
| Emergency generator | 1x 80KW 6bt Cummins |

| DECK MACHINERY | |
|---|---|
| Mooring winch aft TA | Electro-hydraulic 2x Jiangsu Haitai |
| Rescue boat | 1x for 6 people |
| Life raft | 4x 12 men inflatable |

# LNGonwheels

## LNG Truck Carriers potenciales

TOLL OSPREY

PRINCIPAL DIMENSIONS

| | |
|---|---|
| LENGTH OVERALL (HULL) | 84.00 m |
| LENGTH WATERLINE | 82.30 m |
| BREADTH MOULDED | 16.50 m |
| DEPTH MOULDED | 4.80 m |
| DESIGN DRAFT (MLD) | 3.00 m |
| OPERATIONAL DRAFT (MLD) | 2.40 m |
| DEADWEIGHT (@ 3.0m) | approx. 1800 t |
| DEADWEIGHT (@ 2.4m) | approx. 1000 t |
| COMPLEMENT | 12 |

FLAG: AUSTRALIA

# LNGonwheels

## LNG Truck Carriers potenciales

TOLL

**TOLL FIREFLY**

| PRINCIPLE PARTICULARS | |
|---|---|
| Type of ship | Landing craft |
| Owner | Toll Marine Logistics |
| Port of registry | Gladstone, Queensland |
| Flag | Australia |
| Class | Lloyds |
| IMO number | 9550723 |
| Official number | 860123 |
| Call sign | VJN3664 |
| Year built | 2009 |
| Dead weight | 1304 |
| Loaded displacement | 2092 |
| Lightship | 787 |
| Gross tons | 1120 |
| Max Complement | 8 people |
| Min Complement | 4 people |
| Current complement | 4 people |

| CONSTRUCTION DETAILS | |
|---|---|
| Length overall | 54.375 m |
| Moulded breadth | 18 m |
| Moulded depth | 4.2 m |
| Dead weight | 1320.1 t |
| GRT / NRT | 1097 / 336 t |
| Fresh water | 81.90 $m^3$ |
| Fuel oil | 444.87 $m^3$ |
| Cargo fuel oil | 248.36 $m^3$ |
| Cargo fuel discharge rate | 20$m^3$ @ 25m head |
| Sea water ballast | 1086 $m^3$ |
| Freshwater/s/water cargo | 850$m^3$ |
| Cargo F/WS/W discharge rate | 2x40$m^3$ @ 35m head |
| Free deck space | 617.8 $m^2$ |

| PERFORMANCE | |
|---|---|
| Estimated speed | 10 Knots |
| Consumption | 5000ltrs/day |

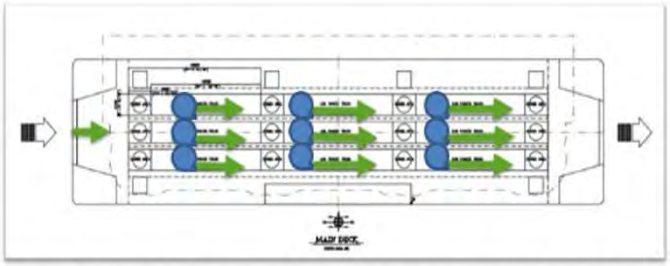
| RADIO & NAVIGATION EQUIPMENT | |
|---|---|
| INMARSAT-C | 2x Furuno Felcom 15 |
| GPS | Furuno GP-150 |
| AIS | Furuno FA-150 |
| VHF/FM radio telephone | Furuno FS1570 |
| VHF/FM hand held radio | 2x Furuno FM8800 |
| Radar | Furuno FR-1510 MK3 |
| Echo sounder | Furuno FE-700 |
| EPIRB | Acr-Rlb-32 |
| Gyro compass | Yokogawa CMZ700B |
| Magnetic compass | Lilley & Gill MK2000 |
| Speed log | Furuno DS-80 Doppler |

| MACHINERY | |
|---|---|
| Main propulsion system | 2x Cummins KTA19M3 @ 1800RPM with two reduction gears from Reintjes Asia Pacific |
| Telescopic bow thruster | 200 kW Thrustmaster Cummins QSL-9 |
| Main generators | 2x Cummins 6CT8.3D(M). 98KWE @ 122.5KVA |

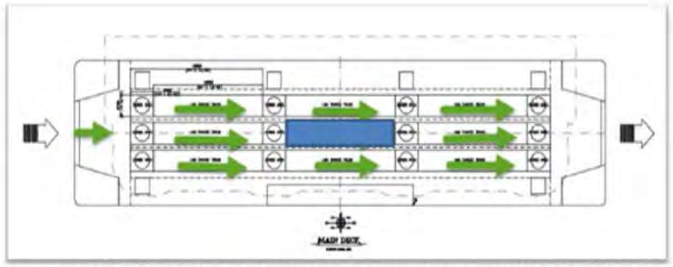
| DECK MACHINERY | |
|---|---|
| Rescue boat | Inflatable rescue boat for 6 people |

# LNGonwheels

## Opción *bunkering*



Bunkering from trucks with each pump and vaporizer



Bunkering from trucks with common pumping module

Approval in Principle (AiP) obtenido para esta solución, emitido por American Bureau of Shipping (ABS)

PATENTE EN CURSO

# LNGonwheels

Suministro GNL a islas remotas con la mínima infraestructura y máxima agilidad

## RESUMEN

**Solución:** Alternativa de suministro de bajo coste y rápido tiempo de implantación, para la **distribución de GNL en emplazamientos remotos**, mediante el uso de camiones cisterna rápidamente cargados en una barcaza (LNGTC) y siendo suministrados a los clientes finales en cualquier puerto comercial cercano al punto de entrega. El análisis logístico de cada caso resulta fundamental.

**Beneficios clave para los clientes finales:**

- Sin necesidad de grandes infraestructuras (puede utilizar cualquier puerto comercial)
- Fácilmente escalable (modular)
- Puede suministrar a una o a varias islas
- Competitivo en precio

# LNGonwheels

## Tecnología propietaria

(54) Título: **Sistema de transporte y distribución marítimo de gas natural licuado GNL**

(57) Resumen:
Sistema de transporte y distribución marítimo de gas natural licuado GNL que comprende una gran entidad suministradora de GNL, al menos un pequeño buque de GNL (16), que se abastece de gas natural licuado GNL por parte de la gran entidad suministradora de GNL, al menos una barcaza de transporte de camiones cisterna (17), barcaza que dispone de medios de acceso y medios de salida de los camiones cisterna desde la barcaza, en donde la barcaza de transporte de camiones cisterna se desplaza entre el pequeño buque de transporte y distribución de GNL (16) y el puerto (19) donde el muelle dispuesto en tierra firme facilita la salida y posterior retorno de los camiones cisternas (18) para la distribución del GNL entre los clientes finales.

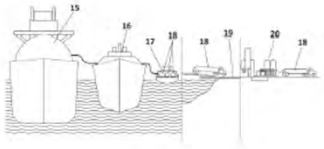



FIG. 4

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE ENERGÍA, TURISMO Y AGENDA DIGITAL · Oficina Española de Patentes y Marcas

(57) Barcaza porta-camiones cisterna de gas natural licuado gnl.
La invención soluciona problemas de suministro de GNL en zonas remotas tal y como islas, que carezcan de zonas portuarias adaptadas al suministro de GNL, consistiendo en una barcaza porta-camiones cisterna de gas natural licuado GNL y su distribución a diferentes localizaciones, que comprende, al menos un camión autopropulsado cisterna de gas natural licuado GNL, ubicado en la cubierta de la barcaza, un módulo de conexión de la barcaza al suministro de GNL desde una fuente suministradora, al menos un módulo de carga del GNL en los camiones cisterna, al menos un módulo de distribución del GNL que enlaza el módulo de conexión de la barcaza al suministro de GNL y el módulo de carga del GNL en los camiones cisterna, medios de acceso de los camiones cisterna a la barcaza y medios de salida de los camiones cisterna desde la barcaza.

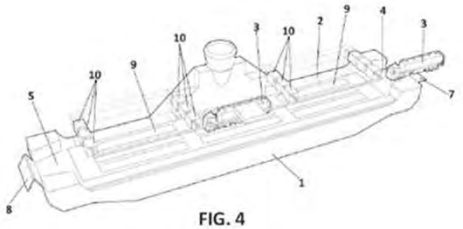



FIG. 4

LNGonwheels

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Naturgy

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# LNGonwheels, una propuesta innovadora de suministro de GNL a pequeña y mediana escala en zonas de difícil acceso

**P. García Díaz [1] y M. Duvison Santiago [2]**

1 NATURGY LNG, S.L. Calle Acanto, 11. 28045 Madrid. pgarciadi@naturgy.com
2 NATURGY LNG, S.L. Calle Acanto, 11. 28045 Madrid. mduvison@naturgy.com

**Resumen:**

La solución LNGonwheels de Naturgy se crea con el objetivo de facilitar el suministro de GNL en aquellas zonas donde, o bien no existen instalaciones de almacenaje y distribución de GNL, o bien la demanda no cuenta con un tamaño suficiente como para justificar la ejecución de dichas infraestructuras, eliminando por tanto la necesidad de inversión en aquellas. Adicionalmente, reduce el impacto ambiental comparada con soluciones convencionales de suministro y es fácilmente escalable.

La solución consiste en una barcaza diseñada para transportar cisternas, que cuenta con un novedoso módulo que permite la conexión y carga simultánea de estas cisternas desde un buque metanero pequeño u otra infraestructura de suministro. La barcaza tiene capacidad para dirigirse hacia zonas de la costa o portuarias donde estas cisternas, una vez cargadas de GNL en alta mar, desembarcan y se dirigen a los clientes para abastecerlos y permitir su operación con gas natural.

La solución ha sido ideada y desarrollada por un equipo de profesionales de Naturgy, estando avalada por la obtención de un "*Approval in Principle*" emitido por la Sociedad de Clasificación American Bureau of Shipping (ABS), así como la concesión de la patente española (OEPM) de la barcaza mencionada.

Este sistema refuerza la posición innovadora de Naturgy en el mercado del GNL, abriendo líneas de negocio en zonas donde hasta ahora no ha sido posible distribuir el GNL, permitiendo a todo tipo de clientes finales acceder a todas las ventajas económicas, energéticas y medioambientales que implican el uso del gas natural como alternativa real a los productos petrolíferos.

**Palabras clave:** eficiencia energética, gas natural licuado, GNL, gas natural, innovación, pequeña escala, *LNG on Wheels*, cisternas, barcaza, ABS, módulo de descarga, bahías de descarga, mangueras, puerto, zonas costeras, zonas remotas, aguas someras, medioambientalmente amigable, solución integral, planta regasificación, barco metanero, suministro fiable, orientación cliente, modelos de contrato de servicio de bajo riesgo.

## 1. BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las soluciones convencionales de suministro de gas natural requieren de un volumen mínimo de combustible entregado, a fin de lograr rentabilizar las inversiones necesarias en el conjunto de la cadena que hagan realidad dicho suministro, de forma que aquellos mercados de menor escala no cuentan con el tamaño adecuado que haga viable la entrega de la alternativa más limpia de combustible fósil existente siguiendo un esquema convencional.

Así, como referencia, dicho suministro de GNL con una solución convencional es rentable para volúmenes superiores a 2 bcm/año, muy lejanos a los volúmenes considerados de pequeña escala, en el entorno de los 0,2 bcm/año o por debajo.

Además, las previsiones de crecimiento de GNL en estos nuevos mercados de pequeña escala se estima que supondrán del orden de un 50% del crecimiento futuro, por lo que la necesidad de encontrar una solución técnica competitiva económicamente lo era aún más.

Adicionalmente, el hecho de que dichas demandas de pequeña escala se encuentren habitualmente en zonas más remotas y con restricciones medioambientales importantes hacía necesaria la búsqueda de soluciones medioambientalmente más amigables que la instalación de un pantalán convencional, con el consiguiente impacto sobre el fondo marino.

Como respuesta a todo lo anterior surge LNG on Wheels (LNGoW), una solución de transporte y distribución marítima basada en una barcaza portacamiones cisterna de gas natural licuado, que permitirá un rápido desarrollo en el suministro de GNL a pequeña y mediana escala, permitiendo a los usuarios finales el acceso a una fuente de energía económica, segura y respetuosa con el medioambiente.

La barcaza, con su módulo de carga y los camiones cisterna que transporta, en combinación con infraestructuras auxiliares en tierra (que completan la solución LNGoW desarrollada por Naturgy) resulta una solución flexible, escalable y que permitirá satisfacer las demandas presentes y futuras del mercado.

## 2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

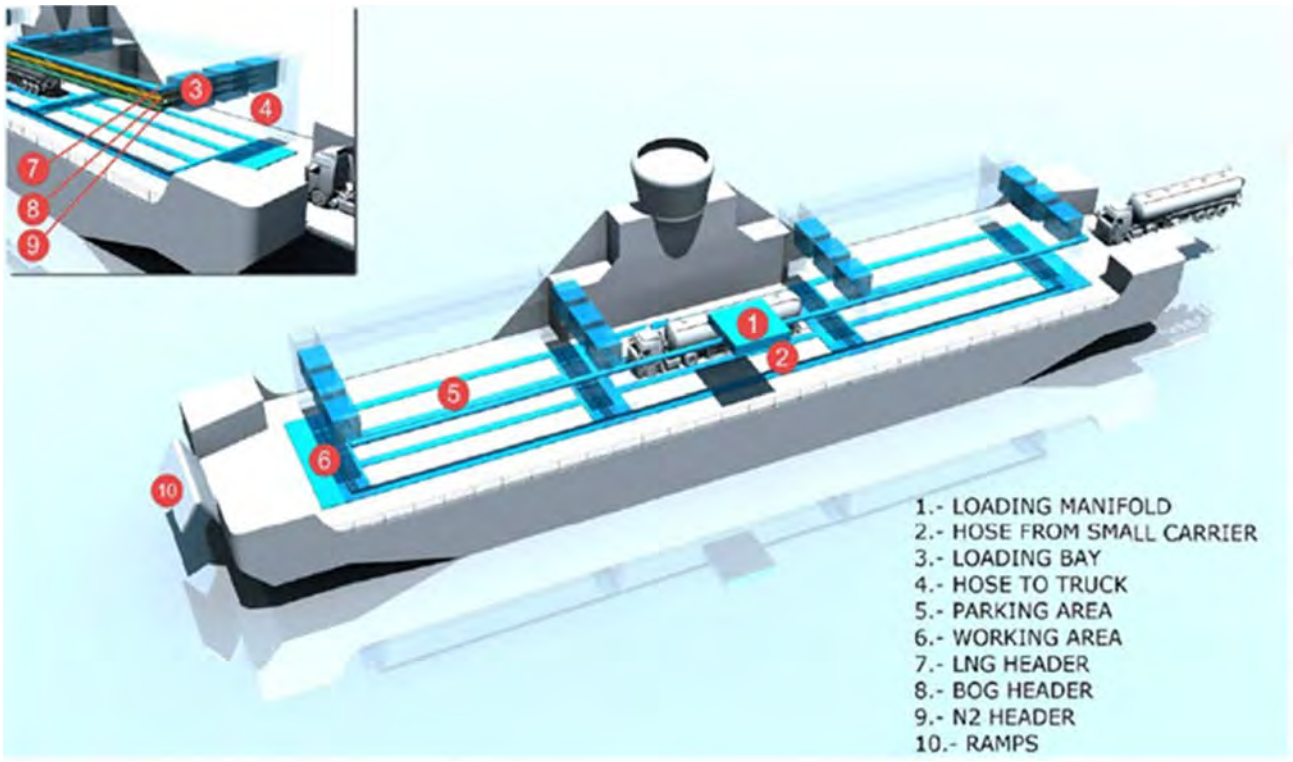
LNGoW es una solución integrada escalable y de bajo coste, avalada por la obtención del llamado *Approval in Principle* certificado por la sociedad de clasificación ABS, siguiendo su procedimiento de evaluación de nuevos conceptos, así como por la concesión de la patente española de la barcaza y del sistema de transporte y distribución marítimo ideado. El objetivo perseguido con el desarrollo de esta solución es reducir significativamente el coste total de inversión asociado a la instalación de nuevas infraestructuras de importación de gas natural, como combustible con mayor potencial de eficiencia energética y medioambientalmente amigable de entre las alternativas fósiles, de pequeña y mediana escala, proporcionando una solución de gas rentable y respetuosa con el medio ambiente a clientes ubicados en zonas marinas.

Esquemáticamente, la solución necesita de una entidad suministradora de GNL o buque nodriza y de una barcaza portacamiones cisterna, ya patentada, que dispone de una zona en cubierta habilitada para disponer los camiones cisterna, cada uno en su correspondiente bahía de carga, además de un módulo de conexión de la barcaza al suministro de GNL desde una fuente suministradora, un módulo de carga de GNL en los camiones cisternas, un módulo de distribución que enlaza el

módulo de conexión de la barcaza al suministro de GNL y el módulo de carga en los camiones cisterna, y de medios de acceso y salida de los camiones cisterna a la barcaza.

La siguiente imagen representa una barcaza cargando los camiones cisterna por la rampa de proa y la colocación de otro camión en su bahía de carga, así como los diferentes módulos de carga, distribución y conexión necesarios para realizar la operación de carga de GNL en las cisternas cuando la barcaza se aproxime a la entidad suministradora de GNL.

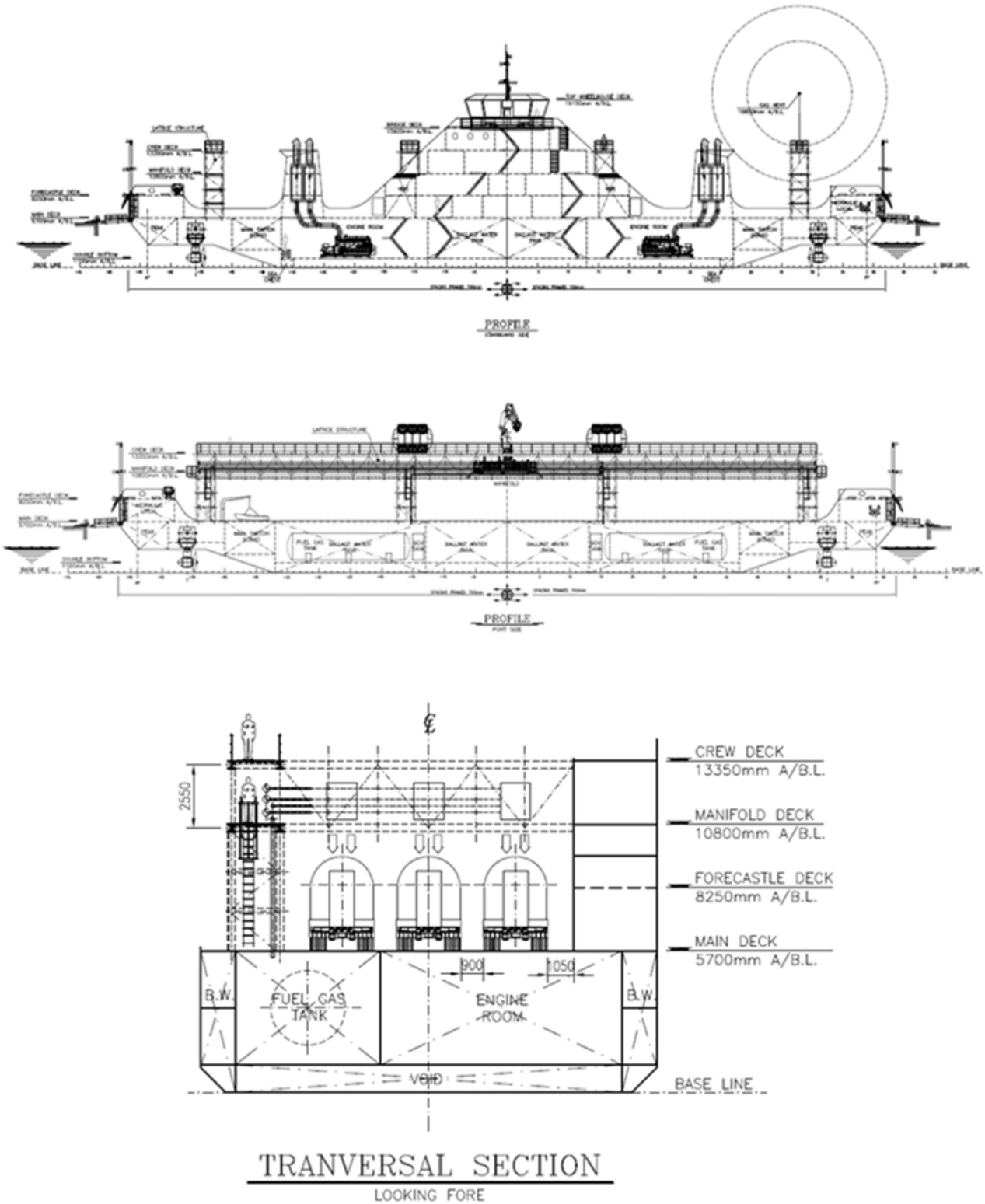
**Imagen 1.** Barcaza portacamiones con los elementos principales que la conforman

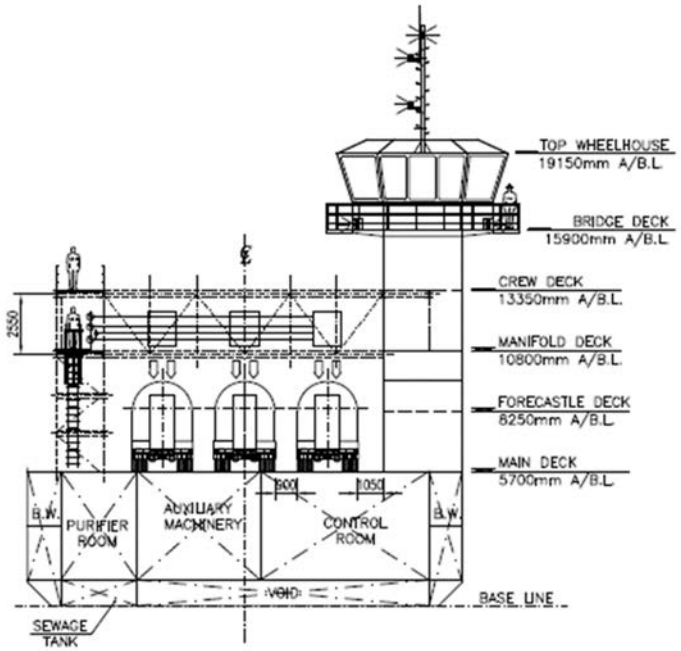



El acceso a la cubierta de la barcaza se puede realizar tanto desde proa como desde popa, resultando indiferentes ya que la embarcación está diseñada para navegar indistintamente al disponer de motores en ambos lados y permitir de esta forma la maniobrabilidad.

En la imagen 2 se representan respectivamente una vista en planta y en alzados frontal y lateral de una barcaza propuesta. La cubierta de la barcaza es aprovechada para disponer de múltiples puestos de carga donde se sitúan los camiones cisterna de GNL, y dónde estos puestos de carga disponen de módulos de carga del GNL en los camiones cisterna, adaptados al tamaño de los camiones cisterna y a las dimensiones de la barcaza. De este modo, la barcaza dispone de al menos dos módulos de carga alineados con el eje de la embarcación y/o barcaza, a la vez que dispone de al menos dos módulos de carga alineados en un eje perpendicular al eje de la embarcación y/o barcaza, pudiendo adoptar configuraciones con cuatro, seis, nueve o más puestos de carga de camiones cisterna, adaptados al tamaño de la barcaza.

**Imagen 2.** Planta y alzados frontal y lateral de la barcaza portacamiones






TRANVERSAL SECTION

FRAME 0
LOOKING FORE

Para hacer reversible la barcaza y que los camiones puedan entrar y salir de manera rodada por ambos extremos de la embarcación, se ha de emplear una configuración en la que el número de módulos de carga alineados con el eje de la embarcación es igual al número de puestos de carga de camiones cisterna más uno, haciendo reversible la embarcación tanto en su carga como en su descarga de camiones cisterna, ya que ha de preverse la ubicación de las bocas de carga en los camiones cisterna que no se encuentran en su punto medio.

## 3. CADENA LOGÍSTICA Y DE SUMINISTRO DE GNL

La barcaza de transporte de camiones cisterna se desplaza entre un buque/entidad suministradora de GNL, y el muelle dispuesto en tierra firme, donde facilita la salida y posterior retorno de los camiones cisternas para la distribución del GNL entre los clientes finales. Con este sistema, no es necesario disponer de instalaciones portuarias de almacenamiento y distribución de gas a los clientes o consumidores finales, ya que los camiones cisterna son autónomos para desplazarse tierra adentro hasta el cliente o consumidor final, cliente que puede ser una planta de generación de energía eléctrica que emplee el gas como medio de producir energía, bien a través de turbinas o motores de combustión, consumidor que puede ser una planta de regasificación y distribución canalizada del gas hasta pequeños consumidores finales, un cliente o consumidor final que se puede tratar de un complejo hotelero u hospital, etc.

La entidad suministradora de GNL puede tratarse de buques grandes o medianos de transporte de GNL, o de una terminal exportadora de GNL. Esta entidad suministradora de GNL suministra el GNL a la barcaza portacamiones cisterna para rellenar las cisternas, realizándose esta operación en el mar o en una terminal de GNL bajo condiciones metoceánicas adecuadas, previamente estudiadas. Una vez finalizada esta operación, la barcaza se dirige al puerto más cercano y facilita la bajada de los camiones cisternas cargados de GNL, que se desplazarán por carretera hasta el

consumidor final. Los camiones cisterna, una vez descargados, retornan al puerto, donde vuelven a embarcarse en la barcaza, esperando a ser llenados de nuevo cuando la barcaza retorne nuevamente hacia la entidad suministradora de GNL.

**Imagen 3.** Diseño conceptual de la solución LNGoW cuando se produce acercamiento de la barcaza portacamiones al buque de GNL

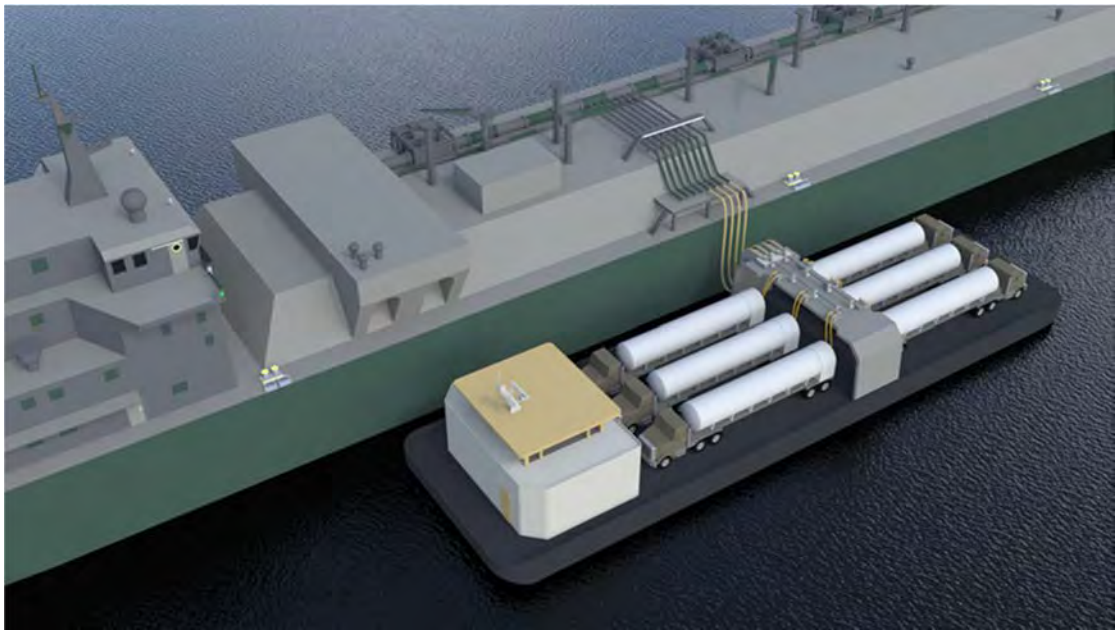
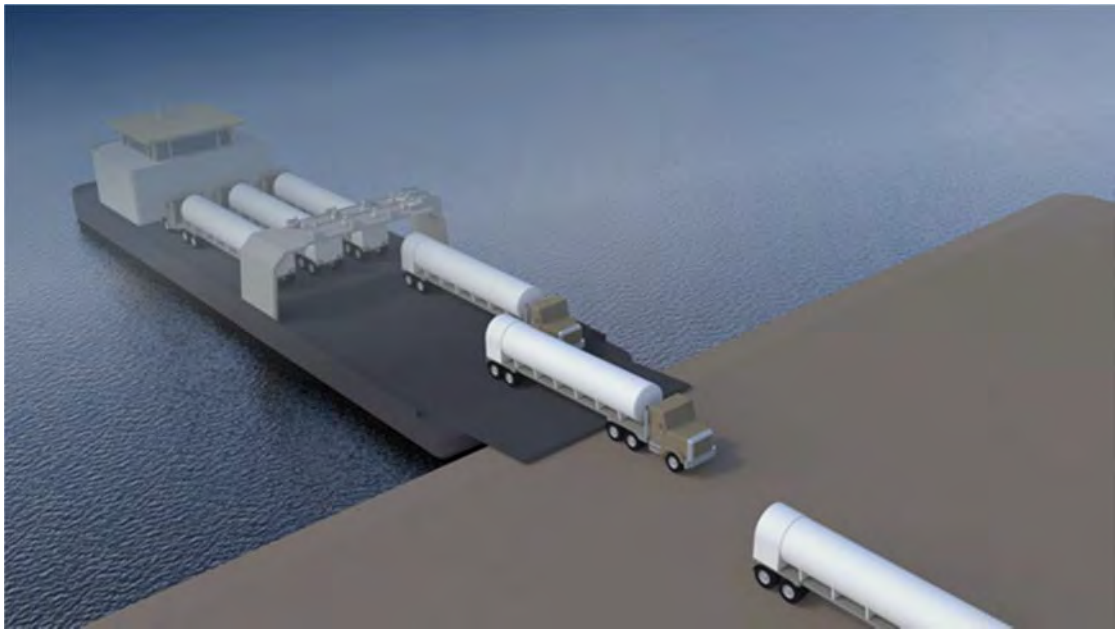


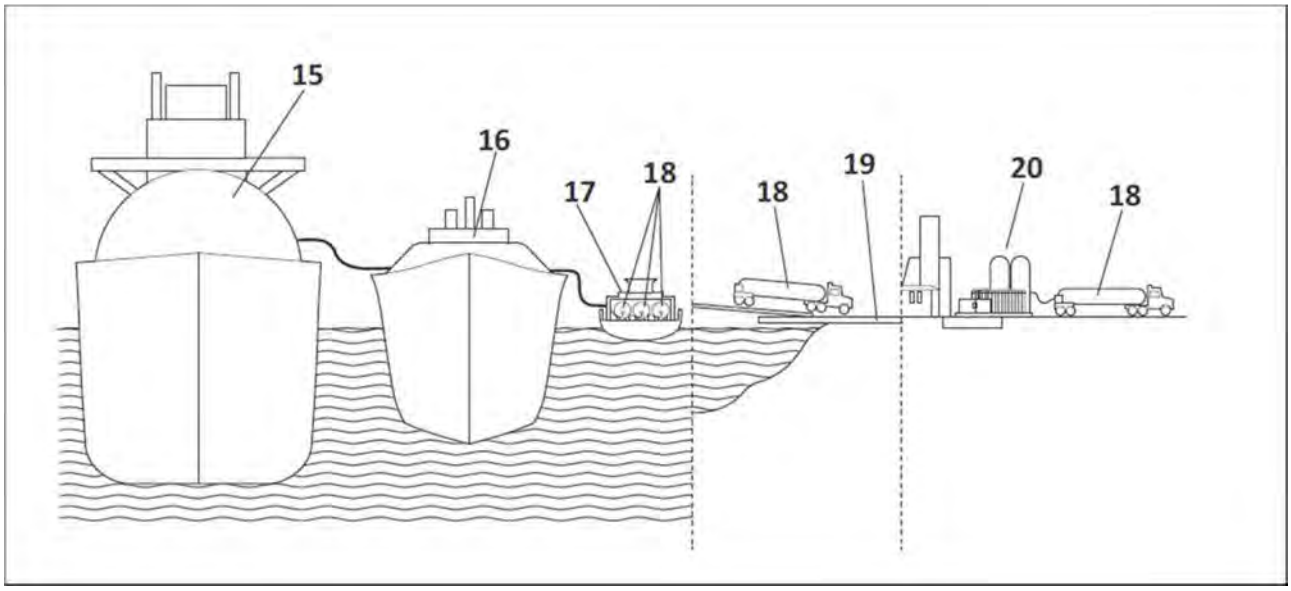
**Imagen 4.** Diseño conceptual de la solución en el momento en el que los camiones cisternas desembarcan en un puerto



A modo de resumen, en la imagen 5 se representa de forma esquemática los elementos que integran la cadena logística y de suministro según la propuesta LNGoW, sistema también patentado al igual que la barcaza, constituido por un gran buque metanero (15) que abastece a un buque pequeño de

GNL (16), y de este se abastece la barcaza a una barcaza portacamiones cisterna (17), cuya misión es transportar los camiones cisterna (18) entre el pequeño buque de GNL (16) y el puerto (19) de descarga de los camiones cisterna (18), para a partir de ese momento proceder a descargar el GNL al cliente o consumidor final (20).

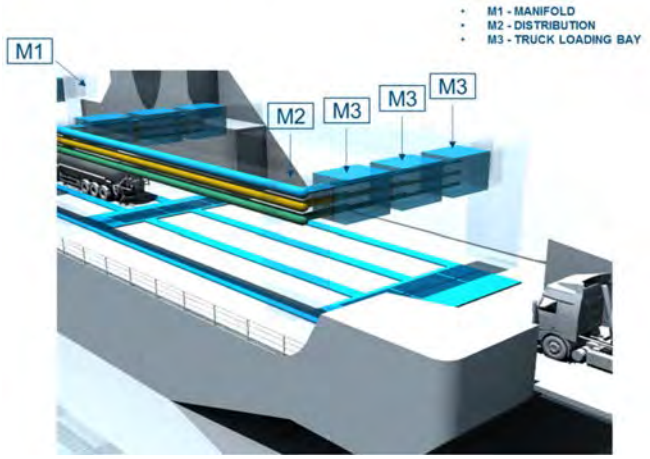
**Imagen 5.** Elementos que integran el sistema de transporte y distribución propuesto con la solución LNGoW




## 4. DESCRIPCIÓN TÉCNICA

De acuerdo con el sistema logístico presentado en el apartado anterior, la barcaza con sus camiones cisterna vacíos se aproxima al buque/entidad de GNL, que hace las funciones de buque nodriza, y se conecta al mismo a través de un módulo de conexión para suministrar el GNL, que a su vez se conecta con un módulo de distribución del GNL que enlaza el módulo de conexión y el módulo de carga del GNL en los camiones cisterna dispuestos en las bahías de carga.

**Imagen 6.** Detalle de los módulos de conexión (M1), de distribución (M2) y carga de GNL en los camiones cisterna (M3).



El módulo de conexión de la barcaza consta asimismo de:

- conexión de nitrógeno, que rellena de gas inerte las cisternas, tuberías y mangueras
- conexión de descarga de gases (BoG), procedentes del gas natural vaporizado, que se pueden usar para nuevamente licuarlos o bien ya gasificados emplearse para la alimentación de los motores o turbinas de la barcaza
- mangueras de carga entre la barcaza y el buque de GNL, que pueden emplearse para el trasvase del GNL, del nitrógeno y de los gases procedentes de la vaporización del GNL
- módulo de instrumentación y control del GNL trasvasado, nitrógeno y descarga de gases realizado, que monitoricen y controlen todo el proceso de descarga

Como se ha explicado anteriormente, la cubierta de la barcaza se divide en uno o múltiples puestos de carga de camiones cisterna, ya que puede optimizarse el espacio de cubierta para la carga simultanea de múltiples camiones cisterna. A cada puesto de carga de camiones cisterna le corresponde al menos un módulo de carga del GNL a los camiones cisterna. Estos módulos de carga comprenden:

- cargador de GNL hacia los camiones cisterna
- descargador de gases de los camiones cisterna, que extrae el BoG
- válvulas de control y seguridad que aseguran un llenado seguro de las cisternas
- sistema de instrumentación, medida y control del proceso de carga de GNL en las cisternas de los camiones
- mangueras de carga y sistemas de conexión/desconexión entre mangueras y cisternas de los camiones

Adicionalmente, la barcaza porta-camiones cisterna se completa con la inclusión de sistemas imprescindibles para el manejo de la embarcación y del GNL transportado:

- sistemas de emergencia para desconexión rápida de las mangueras aéreas que conectan la barcaza y el buque pequeño de GNL
- sistemas de emergencia que interrumpen la operación de carga en caso de anormalidad o fuga de GNL, evitando daños por escapes incontrolados y peligrosos de GNL
- sistemas de detección y extinción de incendios
- sistema de gestión de vertidos accidentales de GNL

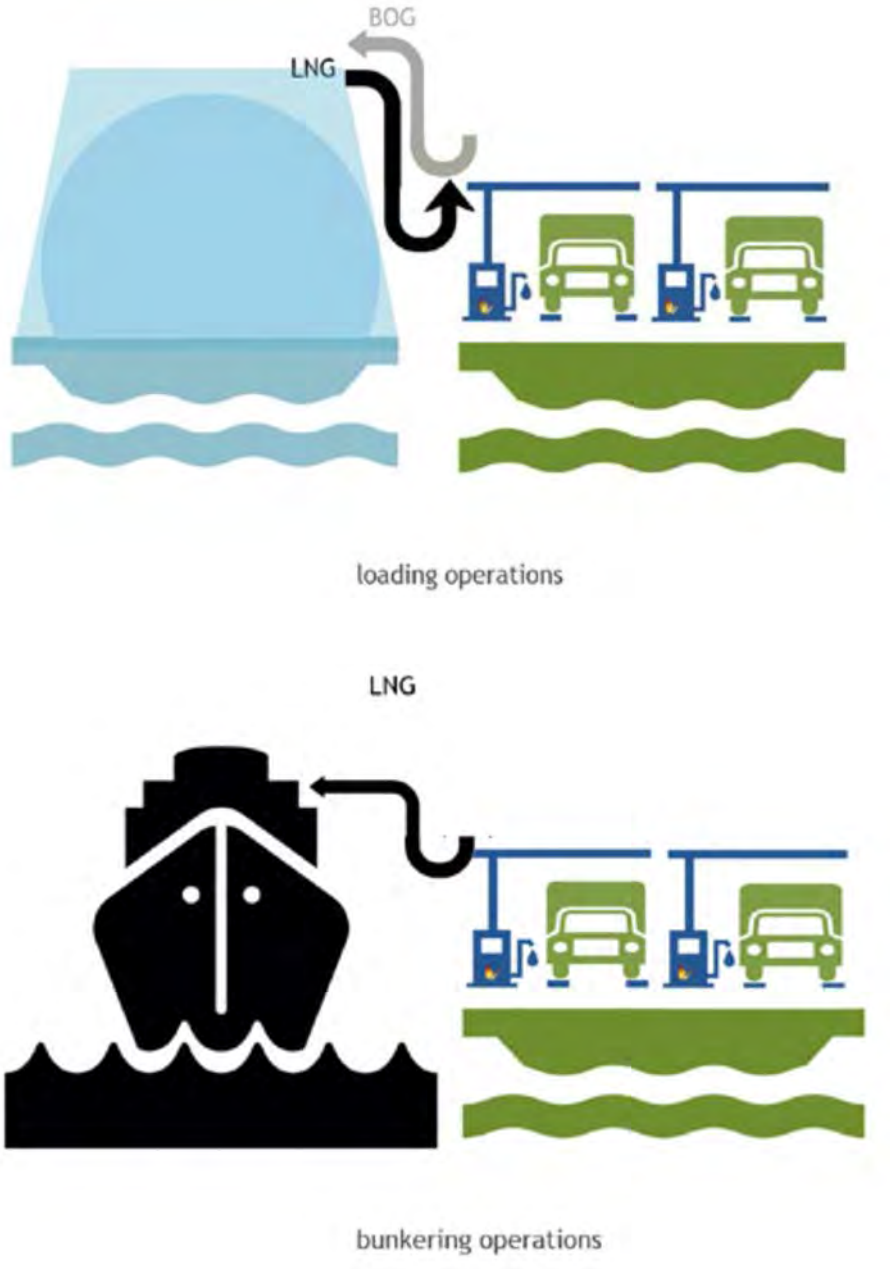
## 5. FUNCIONALIDADES ADICIONALES

Además de las funciones de transferencia y distribución de GNL, la barcaza diseñada en la solución LNGoW puede ser utilizada también como buque *bunkering* de GNL, es decir, como medio de repostaje a otros barcos propulsados por gas natural licuado.

El diseño desarrollado para cubrir esta funcionalidad adicional implica que la barcaza portacamiones disponga de conexiones, módulos, equipos y sistemas ad-hoc para realizar las funciones de carga de GNL desde una entidad o buque hacia las cisternas, así como las de suministrar GNL desde las cisternas dispuestas en la barcaza hacia el buque que va a ser repostado.

Esta solución ha obtenido igualmente *Approval in Principle* por parte de la sociedad de clasificación ABS y se encuentra pendiente de obtener la concesión de la patente solicitada, actualmente en trámite.

**Imagen 7.** Funcionalidades de la barcaza portacamiones



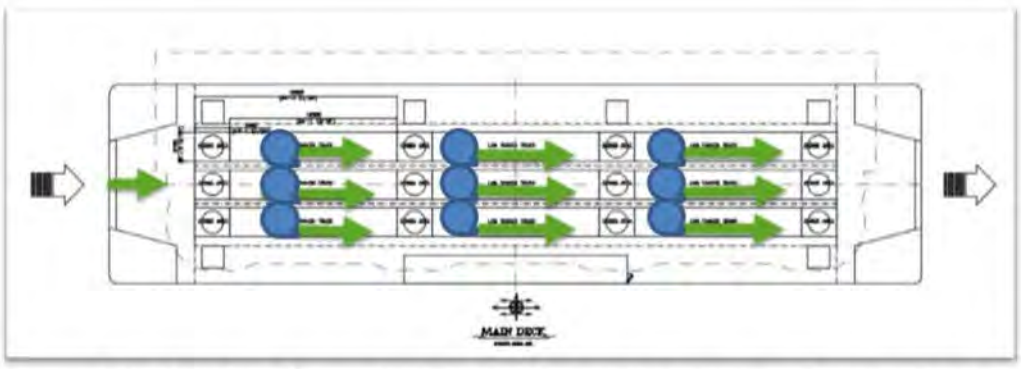

En las operaciones de repostaje de otros barcos, o *bunkering*, el barco, con sus camiones cisterna llenos, se aproxima al barco a repostar y se conecta a través del módulo de conexión del barco al suministro de GNL, el cual comprende:

- un módulo de conexión que incorpora el colector de GNL que recibe el gas natural licuado GNL desde los camiones cisterna
- un módulo de distribución formado por dos colectores, uno de GNL que conecta el módulo de conexión con el buque a repostar y el módulo de descarga de cada camión, y el otro colector de gas natural evaporado BoG, que conecta el sistema de tratamiento de BoG de los camiones cisterna para controlar la presión
- un equipo de bombeo del gas natural licuado entre los camiones cisterna y el barco a repostar, formado dicho equipo de bombeo por las propias bombas de trasvase de GNL que

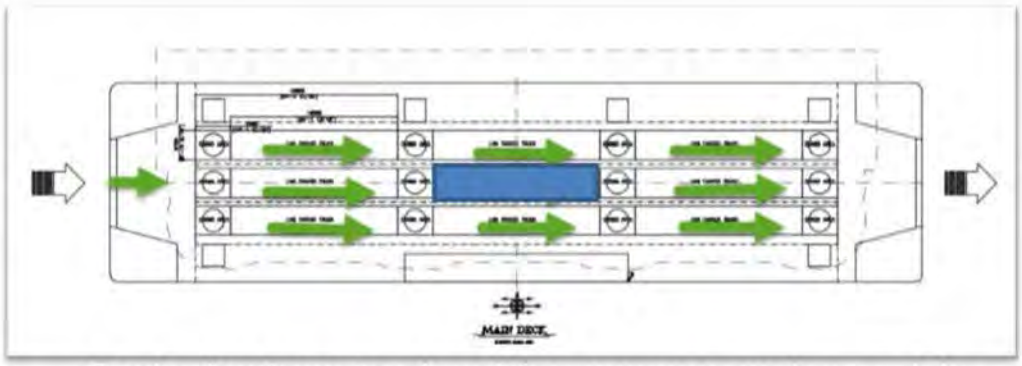
llevan los camiones cisterna o bien se utiliza un equipo de bombeo del propio buque, formado por un colector que une entre si los módulos de carga/descarga de los camiones con el módulo de conexión que enlaza con el barco a ser repostado (ver imagen 8).

- mangueras de carga/descarga del gas natural licuado GNL.
- un módulo de instrumentación y control fiscal del GNL trasvasado.

**Imagen 8.** Opciones de *bunkering* mediante las bombas de las cisternas o a través de módulo de bombeo




Bunkering from trucks with each pump and vaporizer




Bunkering from trucks with common pumping module

## 6. POTENCIAL DE AHORRO ENERGÉTICO. RESULTADOS OBTENIDOS

En lo relativo al potencial de ahorro energético que propone LNGoW a sus clientes potenciales, uno de los elementos principales lo constituye el hecho de que esta solución elimina la barrera de acceso al uso del gas natural para muchos de ellos, donde no era económica o medioambientalmente posible el acceso a este fuente fósil que abre una abanico de opciones de mejora de la eficiencia energética.

Como ejemplo, para una planta de generación de 220 MWe, con un factor de carga del 85% y un rendimiento de transformación del 42% PCI, el coste de transportar y suministrar GNL para cubrir una demanda de 1.700 m3/día sería de 1,75 $/MMBtu (para un proyecto a 15 años con una tasa de descuento del 12%). La logística marítima y terrestre definida para este caso sería realizar 45 descargas cada día usando una barcaza portacamiones que realizaría 5 viajes diarios con 9 cisternas cada vez (de acuerdo a la logística marítima definida por la distancia que ha de recorrer la barcaza

hasta el buque de GNL) y disponer de 18 cisternas de 40 m3 neto de capacidad.

Las siguientes imágenes muestran la secuencia de operaciones que se realizarían para suministrar la demanda diaria planteada en el caso ejemplo.

**Imagen 9.** Acercamiento de la barcaza portacamiones a la FSU

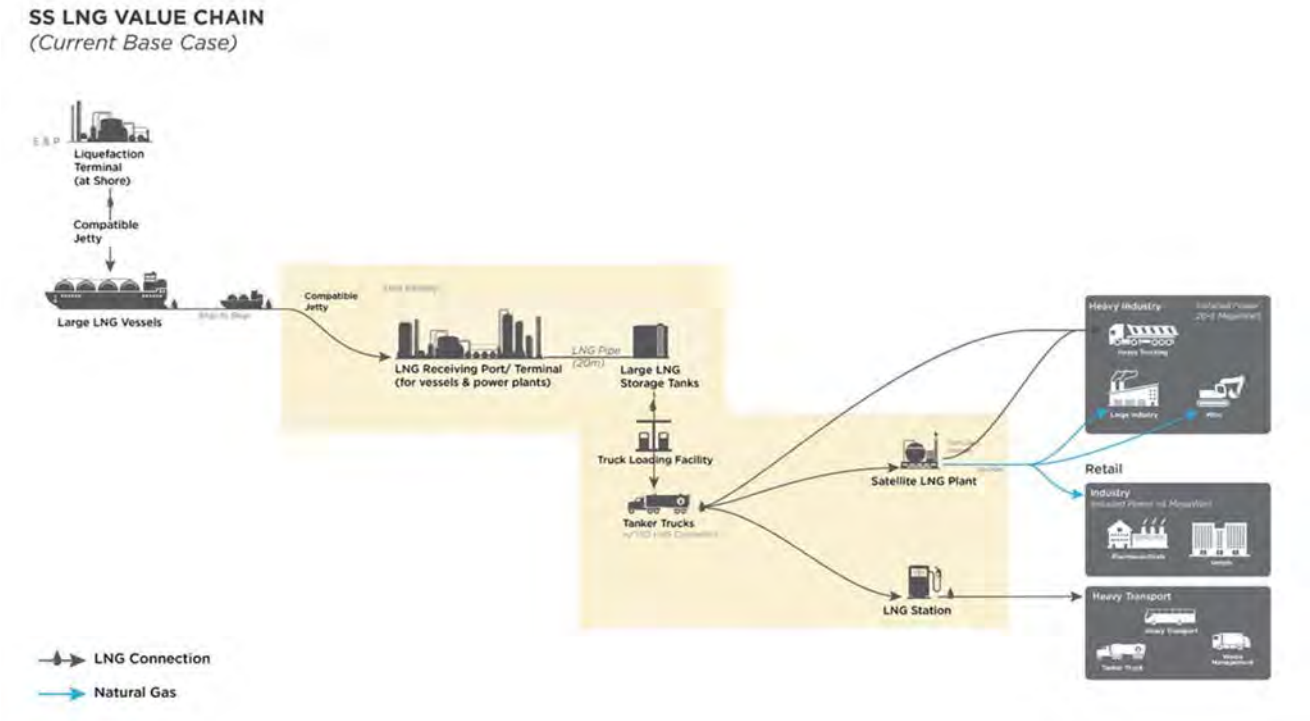
**Imagen 10.** Desembarco de las cisternas en el puerto

**Imagen 11.** Descarga de GNL en la bahías de descarga dispuestas en la planta de regasificación

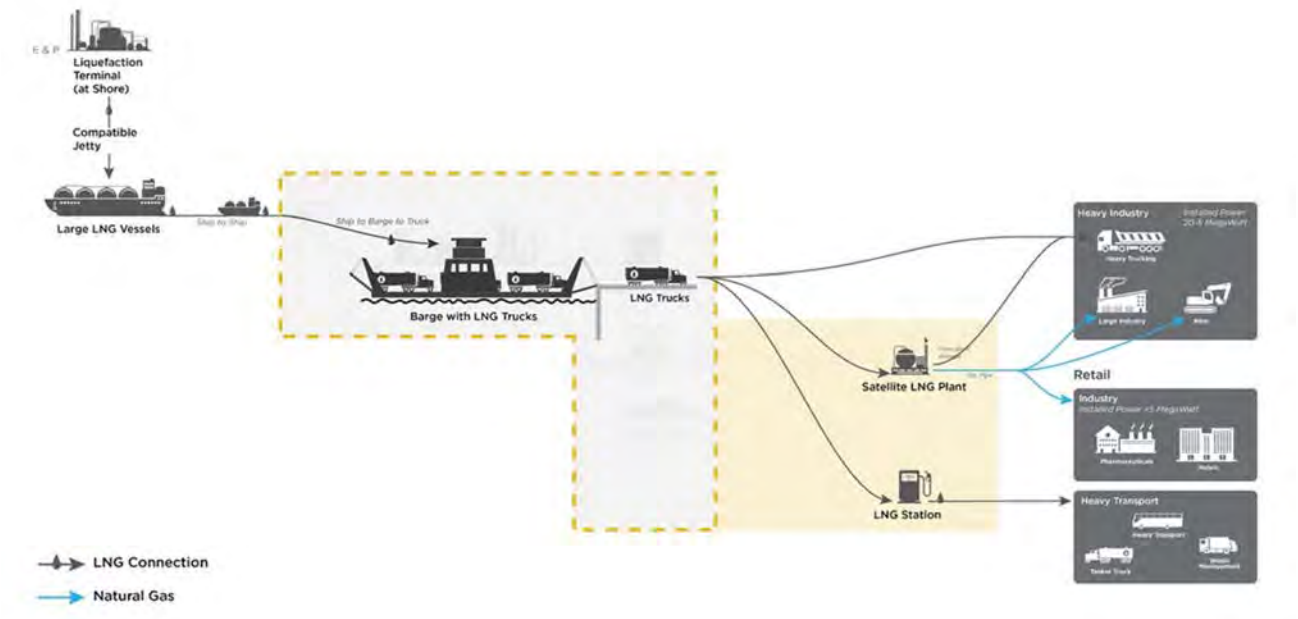
## 7. CONCLUSIONES. VENTAJAS FRENTE A SOLUCIONES CONVENCIONALES

La comparación de los siguientes esquemas remarca las ventajas que presenta la solución LNGoW frente a la alternativa convencional.

**Esquema 1.** Caso clásico de la cadena de valor de distribución GNL a pequeña escala



**Esquema 2.** Caso LNGonwheels de la cadena de valor de distribución GNL a pequeña escala




Comparando ambos esquemas, se puede comprobar que una de las claves del sistema es su gran versatilidad, ya que permite llegar con el gas natural licuado a lugares donde los consumidores estén alejados o aislados, por ejemplo en islas, donde ningún otro sistema seria competitivo ni versátil para proceder a la distribución, evitando las inversiones en caras infraestructuras de almacenamiento y distribución de gas en los puertos.

A modo de conclusión, las ventajas que presenta la solución LNGoW frente a la alternativa convencional son:

- Acceso a clientes en localizaciones remotas o de difícil acceso
- Operaciones en zonas de aguas someras
- No se requieren inversiones en infraestructuras adicionales en puerto
- Modularidad y escalabilidad
- Flexibilidad para adaptarse a los requerimientos del cliente

## 8. AGRADECIMIENTOS

Por último, agradecer a todos los intervinientes del proyecto el esfuerzo y dedicación mostrada durante el desarrollo del mismo, en especial al equipo de profesionales de Naturgy, por su energía, ilusión, pasión, e innumerables horas de trabajo, que han hecho posible superar todos aquellos obstáculos que encontramos. Mención especial a la Dirección de Naturgy, por su apoyo incondicional al proyecto.

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

12:15 - 14:15

**SESIÓN 5 Track A. NZEB y MOVILIDAD**
Modera: David de Diego

"Retos medioambientales en el transporte marítimo, soluciones energéticas". **José Poblet.** Gerente. **COTENAVAL**

"LNGonwheels, una propuesta innovadora de suministro de GNL a pequeña y mediana escala en zonas de difícil acceso" **Miguel Duvison Santiago.** Lng Project Manager. **NATURGY**

"Protocolo de energía del Ayuntamiento de Barcelona: regulación local nZEB de los edificios municipals" **Christian Escrig Pérez.** Técnico en Eficiencia Energética. **AYUNTAMIENTO DE BARCELONA**

"El coche electrico y su papel en la descarbonización" **Javier Tomás.** Director Universidad Corporativa. **POWER ELECTRONICS**

# Protocolo de Energía del Ayuntamiento de Barcelona

## Regulación local nZEB de los edificios municipales

Christian Escrig Pérez

Ajuntament de Barcelona

AGÈNCIA D'ENERGIA DE BARCELONA

aee The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice


1 ANTECEDENTES

2 PROTOCOLO DE ENERGÍA DEL AYUNTAMIENTO DE BARCELONA

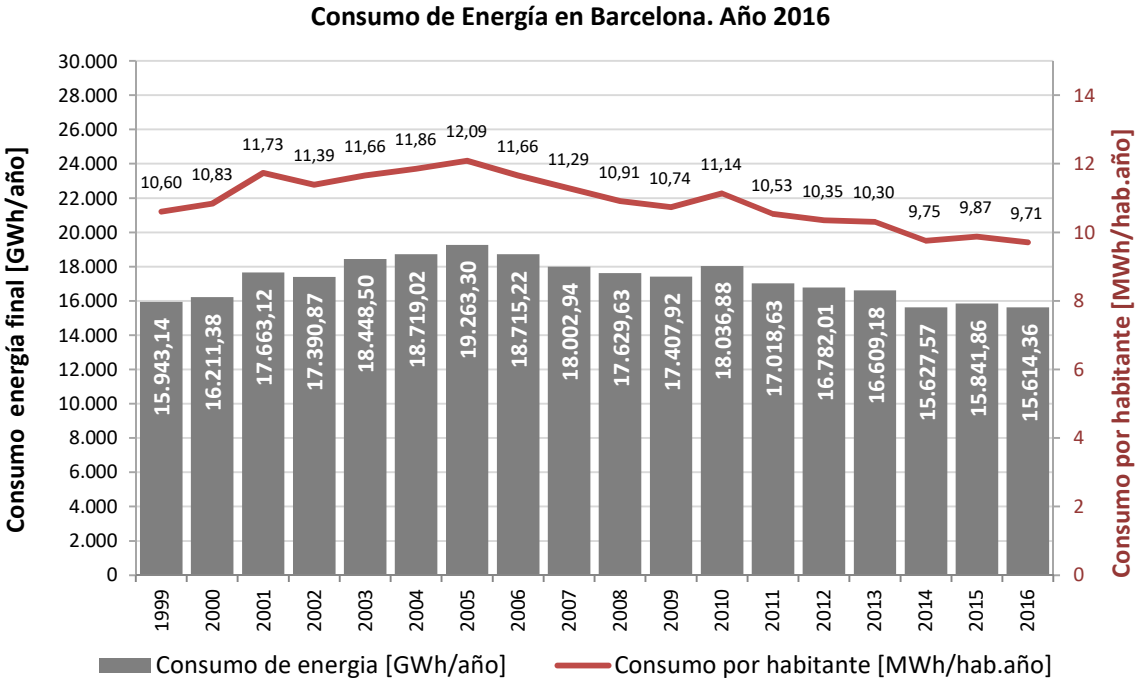
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

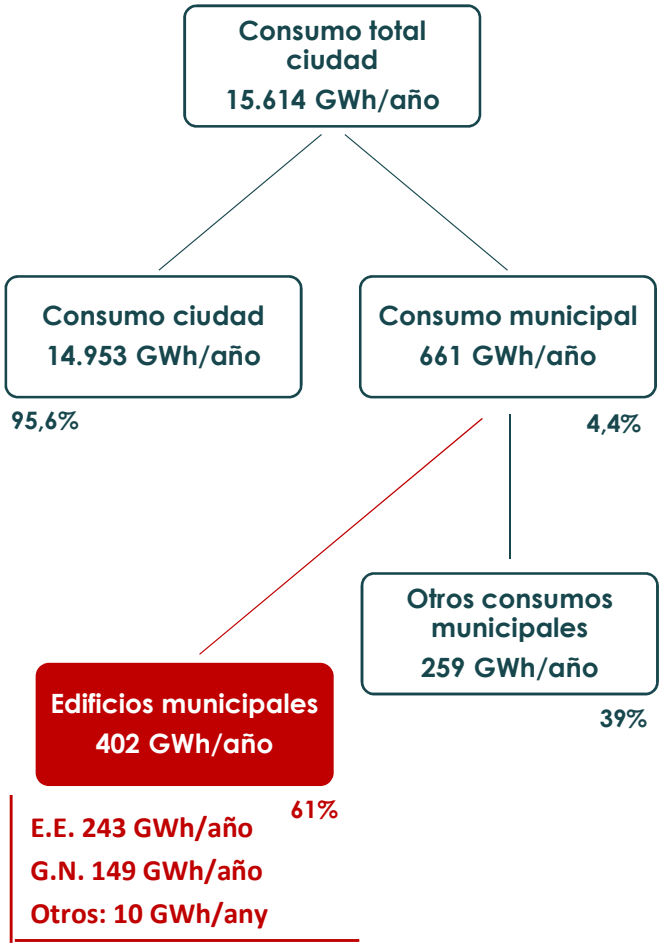
4 CONCLUSIONES

5 MEJORA CONTÍNUA

# 1. ANTECEDENTES

- Barcelona, algunos datos(*):
  - 1.610.427 habitantes
  - Clima Mediterráneo
  - Ciudad compacta




(*) Datos año 2016

# 1. ANTECEDENTES

- **Agencia de Energía de Barcelona (AEB)**
  - ✓ **Desarrollo energético sostenible y participativo**

**Cinco ejes:**

- Información actualizada (observatorio)
- Ahorro y Eficiencia energética
- Generación renovable descentralizada
- Garantía de suministro
- Empoderamiento y cultura energética

✓ **Define estrategias para el cumplimiento de los compromisos energéticos adquiridos**

**Transición hacia la Soberanía Energética**

Medida de Gobierno
*Julio 2016*

**Plan CLIMA de Barcelona**

*Abril 2018*

Premio *1st Covenant cities in the Spotlight (2018)*

✓ **En cuanto a proyectos de edificación:**

- Garantiza el cumplimiento de la Ordenanza Medio Ambiental Municipal (OMA)
- Responsable Municipal en proyectos de titularidad pública

# 1. ANTECEDENTES

- **nearly Zero-Energy Building (nZEB)**
  - ✓ **Real Decreto 564/2017, transposición Directiva Europea 2010/31/UE**
    - **Artículo primero. Disposición Adicional segunda. *Edificios de consumo de energía casi nulo***

      **2.** Los **edificios nuevos** que vayan a estar **ocupados** y sean **de titularidad pública**, serán **edificios de consumo de energía casi nulo después** del **31 de diciembre de 2018**.

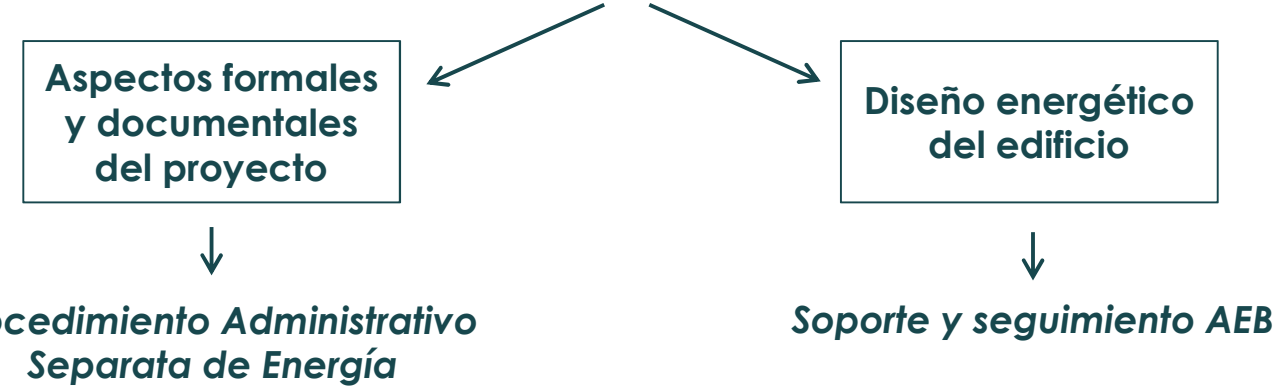
      **3.** Los **requisitos mínimos** que deben satisfacer esos edificios serán los que en cada momento se determinen en el **Código Técnico de la Edificación**.

  - ✓ **Estudios de análisis de escenarios que calificación energética, ámbito residencial y terciario(*). Proyección de edificios de máxima calidad energética considerando:**
    - Calidades constructivas de la **envolvente térmica** cercanas a **Apéndice E del DB HE1**
    - Estrategias de **ventilación natural**, **free cooling** y **recuperación de calor**
    - Cumplimiento OMA en referencia a instalación **paneles fotovoltaicos**
    - Conexión a **redes de calor/frío**

**(*) Estudios realizados por la AEB y la consultora medioambiental Societat Orgànica**

## 2. PROTOCOLO DE ENERGÍA DEL AYUNTAMIENTO DE BARCELONA

- Desarrollado por la AEB y publicado en abril de 2018.
- Marco reglamentario energético para los proyectos edificatorios municipales.




- Estandarización documental de los proyectos. Separata de Energía dividida en 3 bloques:
  - ✓ Eficiencia energética
  - ✓ Generación de energía
  - ✓ Monitorización energética

# 2. PROTOCOLO DE ENERGÍA DEL AYUNTAMIENTO DE BARCELONA

- **Cumplimiento normativo + Requerimientos de Autosuficiencia Energética (RAE)**

**Ámbito Normativo**

| | | |
|---|---|---|
| **Eficiencia Energética** | Limitación demanda y consumo | • HE 0<br>• HE 1 |
| | Instalaciones Térmicas | • HE 2 - RITE |
| | Instalaciones lumínicas | • HE 3 |
| **Generación de Energía** | Generación Térmica (Agua Caliente Sanitaria) | • HE 4<br>• OMA. Título 8 – Cap. 1<br>• Decreto de Ecoeficiencia |
| | Generación Eléctrica | • HE 5<br>• OMA. Título 8 – Cap. 2 |
| **Monitorización Energética** | Sensores y señales. Plataforma de monitorización municipal. | • Protocolo Monitorización AEB |

**RAE**

| | | |
|---|---|---|
| **Eficiencia Energética** | Limitación demanda (Certificación Energética) | **Calificación mínima B** en:<br>• indicador Demanda de Calefacción<br>• indicador Demanda de Refrigeración |
| | Limitación consumo (Certificación Energética) | **Calificación A** en:<br>• indicador de Consumo Energético EPnR |
| **Generación de Energía** | Generación eléctrica renovable | **Máxima producción renovable fotovoltaica** |
| **Monitorización Energética** | **Cuantificación y balances** de:<br>• energía renovable producida por los diferentes sistemas instalados<br>• rendimiento de las máquinas generadoras de energía (fotovoltaica, solar térmica y bombas de calor). | |

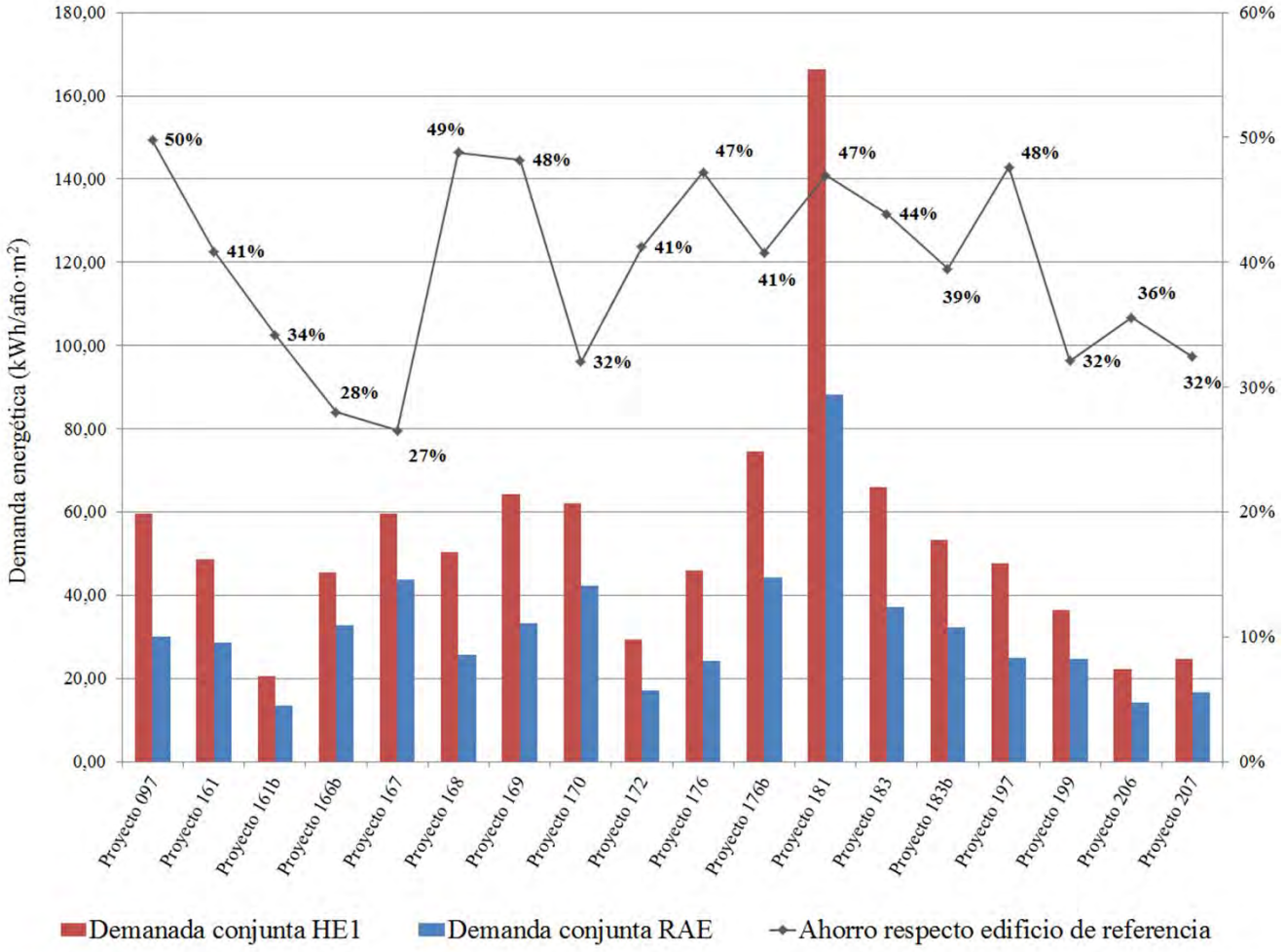
- **Los RAE son de obligado cumplimiento para los proyectos de edificación de obra nueva y gran rehabilitación.**

# 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| Referencia Proyecto | Uso | Actuación(†) | Superficie Construida (m²) | Superficie Certificada (m²) | Calificación EPnR | Consumo EPnR (kWh/m²·año) | Calificación Demanda Calefacción | Demanda Calefacción (kWh/m²·año) | Calificación Demanda Refrigeración | Demanda Refrigeración (kWh/m²·año) | Potencia pico fotovoltaica instalada (kWp) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Proyecto 114 | Deportivo | ON | 7219,3 | 5342,6 | A | 12,40 | C | 31,45 | C | 9,23 | 50,56 |
| Proyecto 133 | Casal | RI | 922,9 | 893,2 | B | 91,39 | E | 33,21 | B | 37,27 | 0,00 |
| Proyecto 153 | Casal | ON | 2359,2 | 1996,9 | A | 60,02 | C | 45,44 | B | 27,27 | 60,52 |
| Proyecto 173 | Social | RI | 371,9 | 321,8 | B | 82,80 | E | 35,40 | F | 46,30 | 0,00 |
| Proyecto 184 | Docente | RI | 3405,4 | 2826,3 | A | 159,60 | B | 16,53 | D | 10,87 | 33,17 |
| PUBLICACIÓN DEL PEAB | | | | | | | | | | | |
| Proyecto 097 | Deportivo | ON | 4430,7 | 3360,0 | A | 45,13 | A | 1,23 | B | 41,11 | 97,50 |
| Proyecto 161 | Mercado | ON | 2518,0 | 2373,0 | A | 44,12 | B | 21,35 | B | 10,58 | 14,40 |
| Proyecto 161b | Mercado | ON | 678,7 | 650,0 | A | 58,03 | B | 8,79 | B | 6,78 | 8,05 |
| Proyecto 166b | Polivalente | ON + RI | 1882,6 | 1632,1 | A | 46,53 | C | 22,46 | B | 14,69 | 14,40 |
| Proyecto 167 | Casal | ON + RI | 755,0 | 559,1 | A | 91,11 | B | 27,59 | C | 23,18 | 0,00 |
| Proyecto 168 | Casal | ON | 368,0 | 283,5 | A | 46,77 | B | 7,92 | B | 25,58 | 2,65 |
| Proyecto 169 | Singular | ON | 2815,0 | 2575,2 | A | 2,39 | B | 25,75 | B | 10,87 | 21,45 |
| Proyecto 170 | Social | ON | 1593,6 | 1328,7 | A | 80,74 | B | 29,48 | B | 18,25 | 14,00 |
| Proyecto 172 | Polivalente | ON | 5397,0 | 4922,3 | A | 37,53 | A | 2,35 | C | 21,33 | 44,54 |
| Proyecto 176 | Deportivo | ON | 1970,8 | 284,6 | A | 85,16 | B | 23,90 | A | 0,56 | 0,00 |
| Proyecto 176b | Deportivo | ON | 147,9 | 80,8 | A | 77,84 | B | 43,18 | A | 1,47 | 0,00 |
| Proyecto 181 | Social | ON + RI | 2640,1 | 2504,0 | A | 61,38 | B | 109,75 | B | 46,11 | 24,30 |
| Proyecto 183 | Deportivo | ON | 672,0 | 371,1 | A | 129,96 | B | 36,43 | B | 0,94 | 17,85 |
| Proyecto 183b | Deportivo | ON | 126,6 | 46,8 | A | 39,74 | B | 16,72 | B | 22,19 | 0,00 |
| Proyecto 197 | Casal | ON | 1340,7 | 1151,6 | A | 15,73 | B | 19,13 | B | 8,40 | 13,44 |
| Proyecto 199 | Casal | RI | 1509,3 | 1103,0 | A | 45,87 | B | 16,64 | B | 11,49 | 4,26 |
| Proyecto 206 | Docente | ON | 3871,3 | 3259,7 | A | 14,30 | B | 7,71 | C | 9,48 | 26,73 |
| Proyecto 207 | Docente | ON | 3827,3 | 3403,3 | A | 17,83 | B | 9,12 | C | 10,83 | 26,73 |

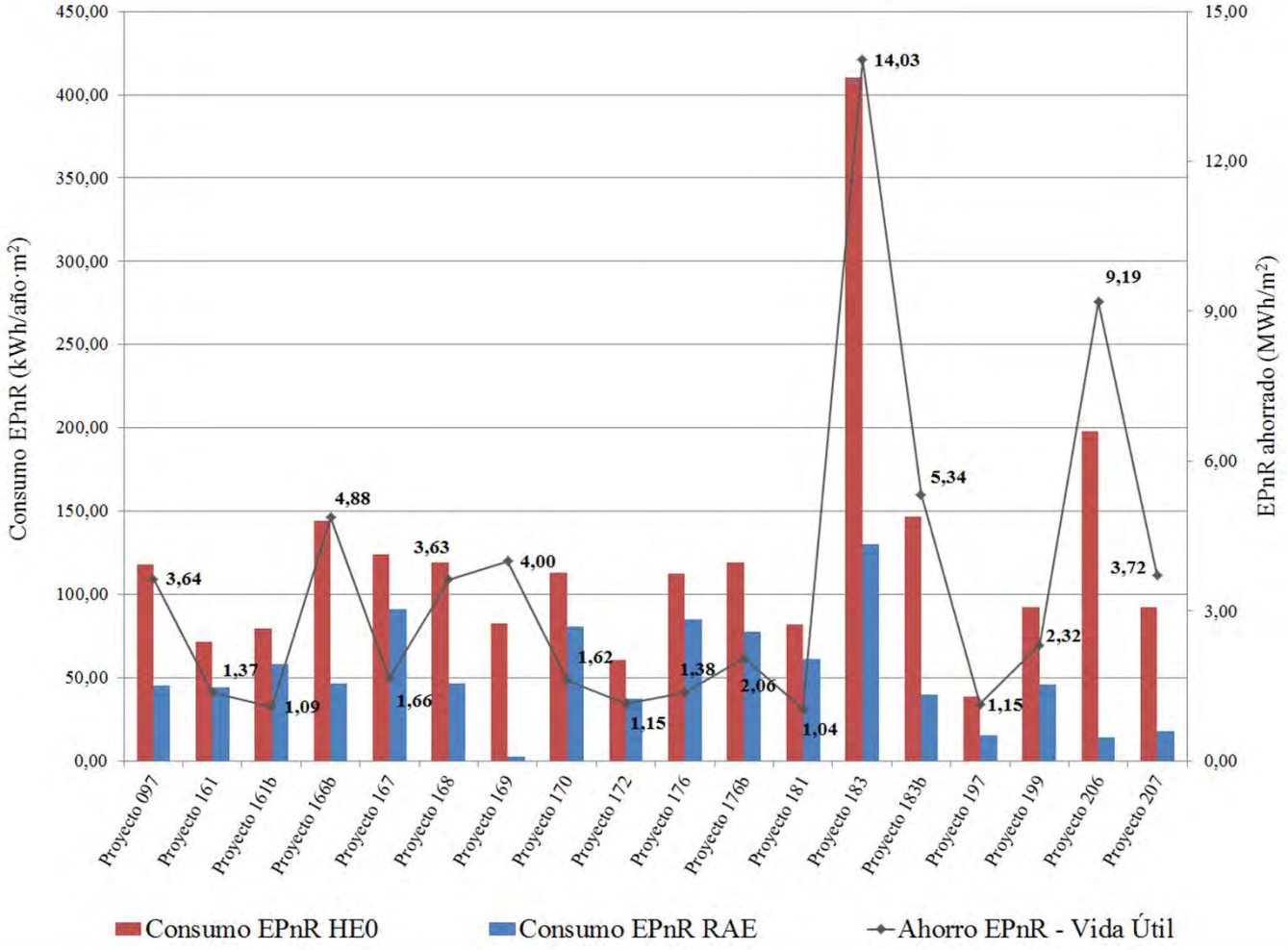
(†) ON: Obra Nueva; RI: Rehabilitación Integral.

# 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN - *Demanda Energética Conjunta*




Promedio de **ahorro del 40%** de la demanda conjunta

# 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN - *Energía Primaria no Renovable*

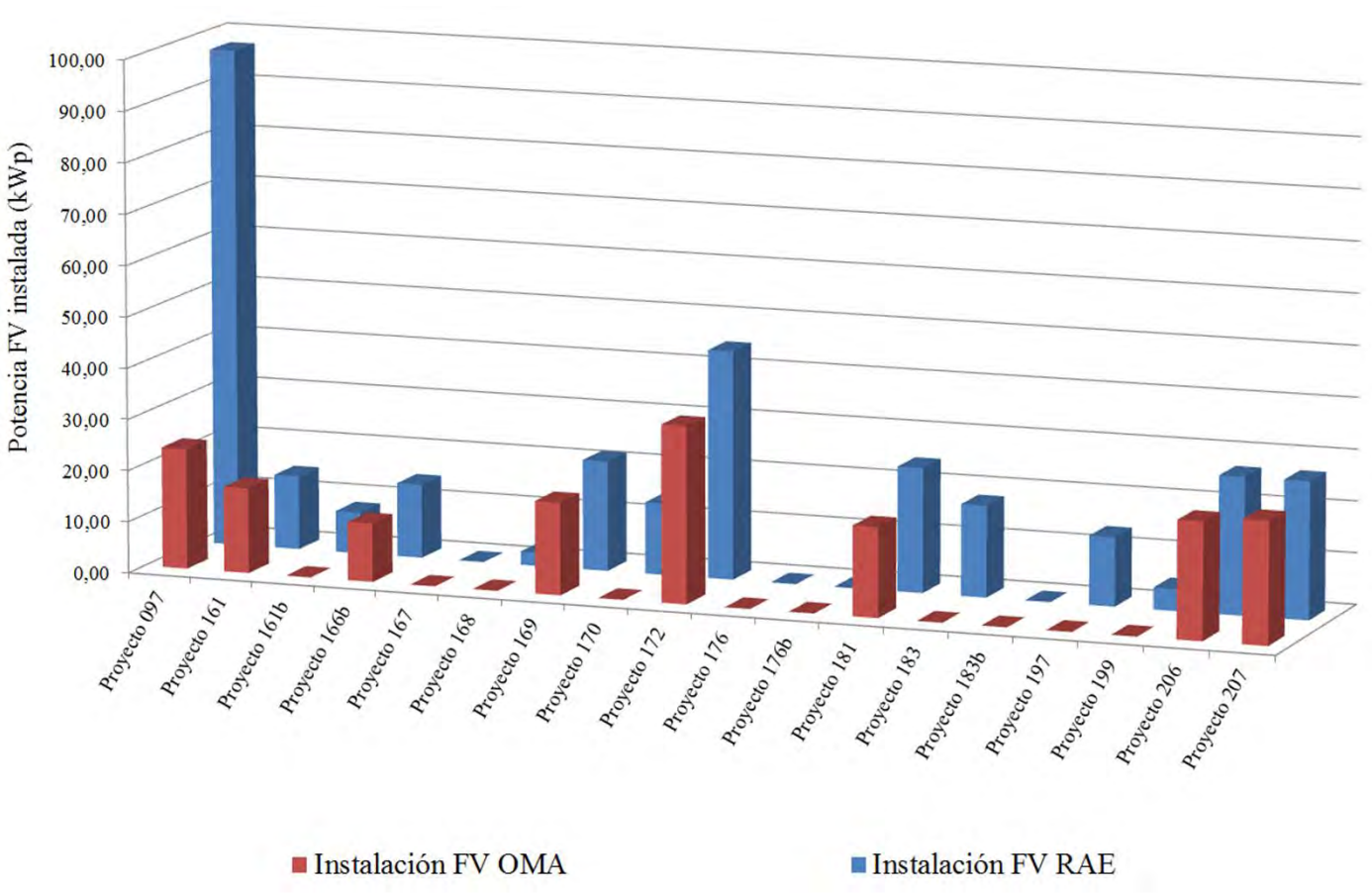



**70 kWh/m2 año** promedio ahorro EPnR.

**99 GWh** de EPnR no consumida.

**7.742 tnCO$_2$** no emitidas.

# 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN - *Generación Eléctrica Fotovoltaica*




**330 kWp** instalados totales (incremento del **96%**).

Producción **210 MWh** anuales "extra".

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN - *Monitorización*

119 Edificios Municipales

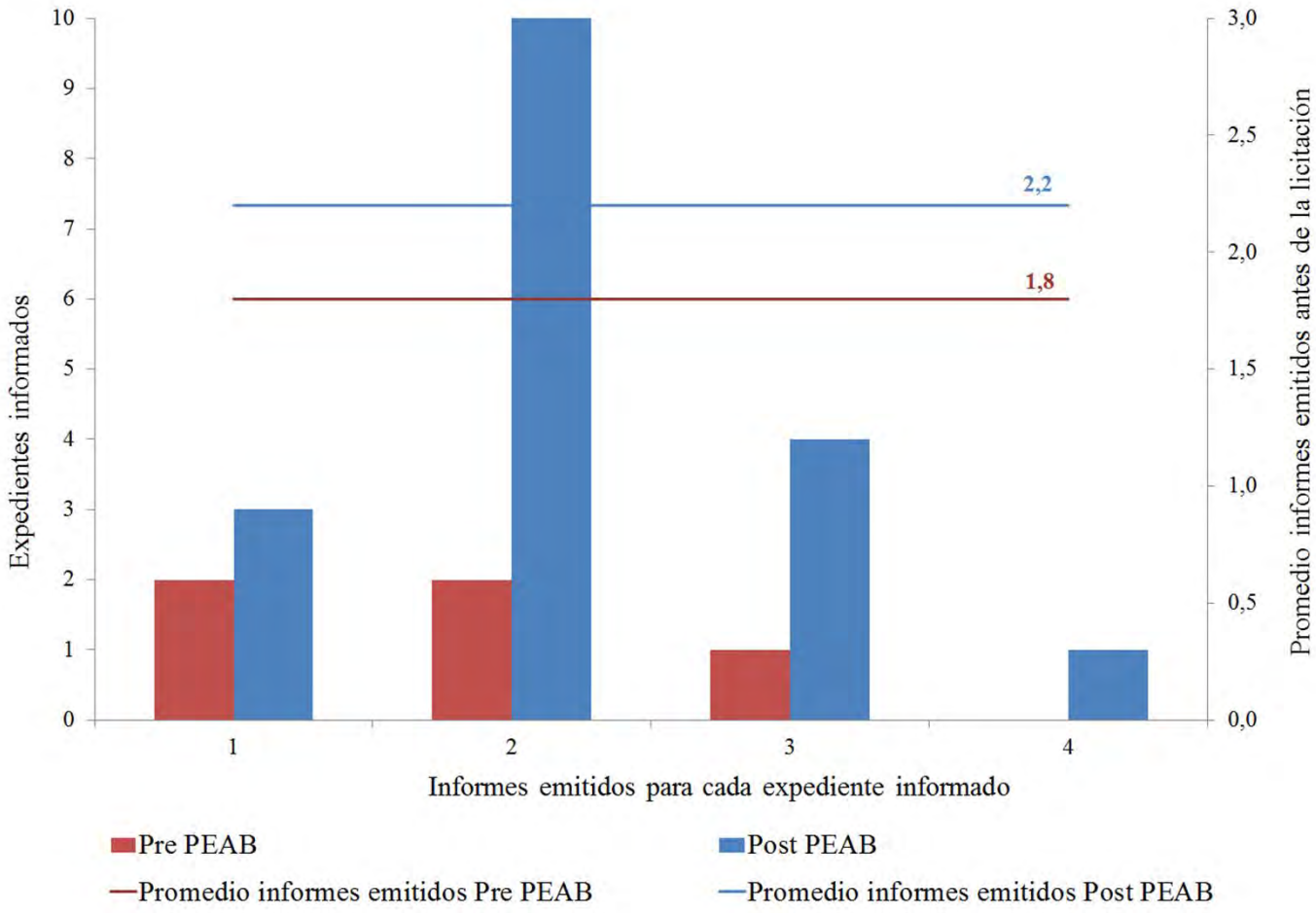
57 Instalaciones Solares Fotovoltaicas

10 Instalaciones Solares Térmicas

**Gestión de 6.326 variables energéticas**

http://aeb.nrgauditor.com/

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN – *Gestión Administrativa*



## 4. CONCLUSIONES

- El Protocolo de Energía del Ayuntamiento de Barcelona es una herramienta robusta en el diseño de edificios de baja demanda y bajo consumo.

- Los Requerimientos de Autosuficiencia Energética combinan estrategias de reducción de la demanda, disposición de sistemas muy eficientes y máxima generación eléctrica *in situ*.

- El cumplimiento de los RAE garantiza la ejecución de edificios "más" nZEB que los actualmente normativos.

- Elevadas cargas internas o soluciones existentes no modificables son factores que pueden conllevar el incumplimiento la limitación de demanda energética.

- El incremento y/o cambio en las exigencias normativas conlleva un aumento de la carga administrativa durante un periodo de adaptación transitorio.

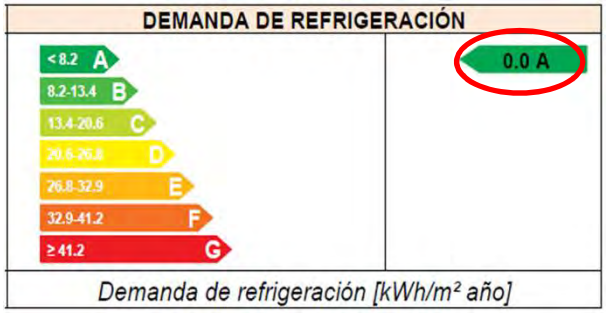
# 5. MEJORA CONTÍNUA

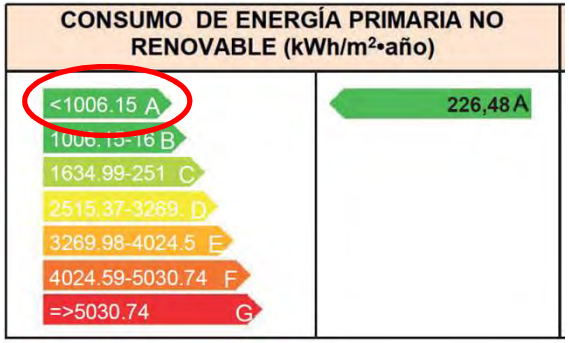
- **Empoderamiento de la Certificación Energética**

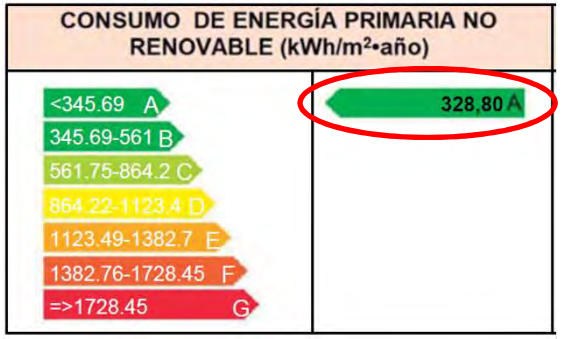
  - ✓ **Simulaciones dinámicas. Valores de demanda más representativos. Posibilidad de simular estrategias pasivas avanzadas.**

  - ✓ **Perfiles de uso más ajustados a la realidad. Uso de la temperatura de consigna alta según RITE.**

  - ✓ **Trazabilidad completa entre contenido del proyecto y el informe de la certificación energética. Corresponsabilizar a todos los agentes de la fiabilidad de los resultados.**



# 5. MEJORA CONTÍNUA

- **Potencialidades de Generación**
  - ✓ Establecer el uso de sistemas fotovoltaicos de elevada eficiencia. Rendimientos superiores al 17%.
  - ✓ Promover instalación de elementos generadores en fachadas irradiadas.
  - ✓ Estimular la proyección y ejecución de pérgolas técnicas en cubiertas.
- **Explotación de la monitorización**
  - ✓ Definición de patrones de comportamiento en función del uso del edificio. Diseño de estrategias conjuntas de eficiencia y ahorro energético.
  - ✓ Consolidación histórico de datos. Análisis del comportamiento real y comparación con la previsión de proyecto. Conclusiones.
- **Simplificación PEAB. Reducción carga administrativa.**

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Ajuntament de Barcelona

AGÈNCIA D'ENERGIA DE BARCELONA

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# I. COMPROMISOS ÁMBITO EDIFICACIÓN

- **Transición hacia la Soberanía Energética**
  - ✓ Medida de Gobierno. Julio 2016.
  - ✓ Artículo 3.7 (Objetivos):
    - Reducción media del consumo eléctrico del 30% en aquellos edificios objeto de intervención en el Programa de Eficiencia Energética.
    - Ahorro aproximado de 3GWh/año de energía eléctrica.

- **Plan Clima de Barcelona**
  - ✓ Plan Municipal. Abril 2018.
  - ✓ Líneas de acción 4 y 5 (Objetivos 2030):
    - Reducir el 7% de las emisiones de GEI asociadas al consumo de energía de los edificios y los equipamientos municipales.
    - (4.11) Estudiar sistemas pasivos [...] y complementar les normativas constructivas vigentes estableciendo prescripciones técnicas y normativas de carácter local.
    - (4.12) Elaborar y aplicar una ordenanza energética de edificios de prestaciones, [...] para reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes locales.

# Protocolo de Energía del Ayuntamiento de Barcelona: regulación local nZEB de los edificios municipales

**C. Escrig Pérez[1], F. Jiménez Castellanos[2], I. Soldevilla Garcia[3], A.J. Vázquez González[4], M. Prósper Serra[5]**

1 Agencia de Energía de Barcelona - Gerencia Adjunta de Medio Ambiente y Servicios Urbanos. Ayuntamiento de Barcelona. c/Torrent de l'Olla 218-220, 3ª Planta. 08012 Barcelona. cescrig@bcn.cat
2 Agencia de Energía de Barcelona - Gerencia Adjunta de Medio Ambiente y Servicios Urbanos. Ayuntamiento de Barcelona. c/Torrent de l'Olla 218-220, 3ª Planta. 08012 Barcelona. fjimenezc@bcn.cat
3 Agencia de Energía de Barcelona - Gerencia Adjunta de Medio Ambiente y Servicios Urbanos. Ayuntamiento de Barcelona. c/Torrent de l'Olla 218-220, 3ª Planta. 08012 Barcelona. isoldevilla@bcn.cat
4 Agencia de Energía de Barcelona - Gerencia Adjunta de Medio Ambiente y Servicios Urbanos. Ayuntamiento de Barcelona. c/Torrent de l'Olla 218-220, 3ª Planta. 08012 Barcelona. avazquezg@bcn.cat
5 Agencia de Energía de Barcelona - Gerencia Adjunta de Medio Ambiente y Servicios Urbanos. Ayuntamiento de Barcelona. c/Torrent de l'Olla 218-220, 3ª Planta. 08012 Barcelona. mprospers@bcn.cat

**Resumen:** El Real Decreto 564/2017 traspuso la Directiva Europea 2010/31/UE y estableció que aquellos nuevos equipamientos de titularidad pública que fueran a ser ocupados a partir del 31 de diciembre de 2018 fueran edificios de Consumo Casi Nulo (nZEB).
La Agencia de Energía de Barcelona, como prescriptor del Ayuntamiento de Barcelona en materia energética, ha elaborado el Protocolo de Energía del Ayuntamiento de Barcelona (PEAB) para los edificios de titularidad municipal. Este documento tiene como objetivo dar respuesta a los requerimientos establecidos en el RD 564/2017 y establecer unas bases sólidas para cumplir con los compromisos energéticos de la ciudad a nivel edificatorio, recogidos en la medida de gobierno de Transición hacia la Soberanía Energética y en el Plan Clima de Barcelona 2018-2030.
El PEAB establece unos Requerimientos de Autosuficiencia Energética (RAE) que pretenden ir más allá de las prescripciones normativas, estableciendo unos mínimos en cuanto a la certificación y exigiendo el máximo aprovechamiento del potencial solar para generación de energía renovable. El cumplimiento de los RAE garantiza que los edificios sean proyectados incorporando medidas limitadoras de la demanda, sistemas energéticos de alta eficiencia y generación de energía renovable in situ, acercando los equipamientos municipales a edificios balance cero.
En este sentido, se estima que el ahorro global en el consumo de energía primaria no renovable del conjunto edificios proyectados hasta la fecha de acuerdo al PEAB sea superior a 90 GWh a lo largo de su vida útil.

**Palabras clave:** edificios, autosuficiencia, eficiencia, generación, monitorización.

## 1. ANTECEDENTES

La Agencia de Energía de Barcelona (*en adelante AEB*) es un consorcio público dependiente del Ayuntamiento de Barcelona formado por diferentes administraciones e instituciones públicas directamente implicadas en la gestión energética y ambiental. Tiene como misión impulsar el posicionamiento de Barcelona como una ciudad ejemplar en el tratamiento de los temas energéticos y su repercusión ambiental. La AEB orienta su estrategia en el ámbito del desarrollo sostenible de la ciudad, a partir del fomento del ahorro de la energía, la eficiencia energética, el uso y el conocimiento de las energías renovables, y la optimización de la calidad de los servicios relacionados con este sector.

Su principal finalidad es que la ciudad Barcelona cumpla con los compromisos ambientales y energéticos adquiridos, tanto en el ámbito local como en el ámbito internacional. De entre estos compromisos adquiridos destacan el Covenant of Mayors for Climate & Energy, la medida de gobierno de Transición hacia la Soberanía Energética [Ayuntamiento de Barcelona (2016)] y en el Plan Clima de Barcelona 2018-2030 [Ayuntamiento de Barcelona (2018)].

En este sentido, con el objetivo de dar respuesta a los retos energéticos en el ámbito de la construcción y edificación, el Ayuntamiento de Barcelona aprobó un Decreto sobre contratación pública responsable con criterios sociales y ambientales del cual se deriva la Instrucción Técnica

para la aplicación de criterios de sostenibilidad en proyectos de obras [Ayuntamiento de Barcelona (2015)] que incluye, tanto para obras de edificación o reforma como para obras de urbanización, determinados requisitos energéticos. Concretamente, para obras de edificación o reforma de equipamientos municipales, se definieron los siguientes criterios:

- Aplicación de criterios y sistemas pasivos (reducción de la demanda).
- Aplicación de criterios básicos de eficiencia energética (reducción de los consumos).
- Obligatoriedad de evaluar el potencial de autoproducción energética del edificio
- Obligatoriedad de llevar a cabo un estudio de la minimización del consumo de energía primaria y de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Certificación energética mínima. En ningún caso podrá ser inferior a la letra B.

En el año 2017 se publicó Real Decreto 564/2017 [Ministerio de la Presidencia (2017)] que a nivel estatal la trasposición de la Directiva Europea 2010/31/UE [Parlamento Europeo (2010)]. Este documento establece en su disposición adicional segunda que los edificios nuevos de titularidad pública que vayan a ser ocupados a partir del 31 de diciembre de 2018 deben ser *nearly Zero-Energy Building* (nZEB). En este sentido, el artículo 3 de la misma disposición adicional segunda define que los requisitos mínimos para considerar un edificio nZEB son aquellos que se establezcan en cada momento en el Código Técnico de la Edificación.

En ese momento, la AEB consideró oportuno estudiar la viabilidad de incrementar la exigencia de los requisitos energéticos en el diseño y la proyección de edificios nZEB, más allá de los mínimos exigidos en el Documento Básico HE - Ahorro de Energía [Ministerio de Fomento (2013)] y los considerados en la Instrucción Técnica para la aplicación de criterios de sostenibilidad en proyectos de obras [Ayuntamiento de Barcelona (2015)].

Se desarrollaron dos estudios referentes al análisis de escenarios que calificación energética, tanto en el ámbito residencial [Agencia de Energía de Barcelona y Sociedad Organica-1 (2017)] como en el ámbito de edificios terciarios [Agencia de Energía de Barcelona y Sociedad Organica-2 (2017)]. Ambos estudios contemplaban la simulación energética de edificios de diferente tipología urbanística (bloque aislado, bloque entre medianeras o remonta), diferente nivel de exigencia en las calidades constructivas y diferente nivel de prestaciones de los sistemas energéticos activos, ubicados en el área geográfica de la ciudad de Barcelona. Los resultados de los trabajos mostraron la posibilidad de proyectar edificios con la máxima calificación energética considerando medidas energéticas tales como:

- Promover calidades constructivas de la envolvente térmica cercanas a las definidas en el Apéndice E del Documento Básico HE1 [Ministerio de Fomento (2013)].
- Promover estrategias de ventilación natural, free cooling i recuperación de calor.
- Exigir el cumplimiento de la Ordenanza Municipal de Medio Ambiente en cuanto a la instalación de paneles fotovoltaicos se refiere.
- En medida de lo posible, abastecer los edificios con redes de calor/frío.

Los estudios se completaron con una comparativa económica. En ella se estableció que el aumento de coste en la ejecución de edificios de la máxima calificación energética, estableciendo las medidas previamente definidas, era inferior al 6% sobre el presupuesto de ejecución material en el peor de los casos.

De acuerdo a los antecedentes descritos, a finales de 2017 la AEB decidió desarrollar un protocolo de energía. El objetivo del protocolo fue concretar aquellos requerimientos energéticos mínimos que debían tener los proyectos edificatorios de titularidad municipal que permitieran converger la

conceptualización económicamente viable de edificios nZEB con el cumplimiento de los compromisos medioambientales a nivel consistorial.

## 2. PROTOCOLO DE ENERGÍA DEL AYUNTAMIENTO DE BARCELONA

La AEB es uno de los organismos del Ayuntamiento de Barcelona facultado para evaluar e informar los proyectos en su correspondiente campo técnico. De forma concreta, la AEB es el ente responsable de dar la conformidad técnica en materia de energía a los proyectos previamente al alcance de los siguientes hitos administrativos:

- La concesión de la licencia de obras
- La licitación de la obra
- La recepción de la obra

El Protocolo de Energía del Ayuntamiento de Barcelona (*en adelante PEAB*) es un documento desarrollado por la AEB y publicado en abril de 2018, en el que se establece el marco para que proyectos de equipamientos de titularidad municipal, en los que intervienen aspectos energéticos, alcancen el nivel de exigencia necesaria para poder ser considerados nZEB. Esta exigencia viene definida, no solo por la correspondiente justificación de la normativa vigente, sino por la estrategia medioambiental municipal. Este marco reglamentario definido en el PEAB permite a la AEB realizar un acompañamiento activo en el diseño energético de los edificios, desde su concepción hasta el final de su ejecución.

De esta forma, más allá de ser una herramienta de control, el PEAB ha sido concebido como un documento de ayuda a los proyectistas, promotores y gestores con el objetivo de afrontar, con las máximas garantías, el diseño de edificios nZEB bajo el prisma de la AEB. El PEAB incluye diferentes aspectos relacionados con el desarrollo del proyecto en cuanto a (i) procedimientos administrativos entre los diferentes agentes, (ii) el ámbito formal y documental, así como los (iii) criterios energéticos mínimos de los edificios, tanto de obra nueva o gran rehabilitación, como reforma parcial.

En el ámbito administrativo, el PEAB es un documento que define los flujos documentales, así como los plazos disponibles para revisar e informar los proyectos. También incluye una descripción de las posibles calificaciones con las que puede informar un proyecto y las implicaciones que tiene en cada caso. El objetivo final del proceso administrativo reside en que el Ayuntamiento de Barcelona disponga de un proyecto que represente fehacientemente el edificio ejecutado y que el contenido del proyecto se ajuste completamente a los requisitos energéticos mínimos definidos en el PEAB, obteniendo así una calificación A en el informe correspondiente emitido por la AEB antes de la puesta en servicio del edificio.

Durante este proceso, el PEAB establece la conveniencia de realizar dos reuniones con los promotores del edificio y el equipo redactor: la primera, en fase de anteproyecto, en la cual se establecen las bases de diseño del edificio en cuanto a aspectos energéticos; y la segunda, con el diseño del edifico desarrollado, en la que se ponen en común los sistemas previstos y se analizan los resultados de las simulaciones energéticas con el objetivo de proponer posibles mejoras.

Para poder evaluar los proyectos, la AEB requiere de la aportación de una separata de energía estructurada de acuerdo a lo establecido en el PEAB. Esta separata debe ser proporcionada por el promotor municipal del equipamiento en cada una de sus etapas, *i.e.* proyecto básico, proyecto ejecutivo o proyecto *As-Built*.

El contenido de la separata de energía se puede clasificar claramente en tres bloques diferenciados: (a) eficiencia energética, (b) generación de energía y (c) monitorización energética. El contenido de cada uno de los bloques debe reflejar el cumplimiento normativo correspondiente, así como su justificación técnica (Tabla I).

**Tabla I.** *Normativas a justificar en cada uno de los bloques de la separata de energía.*

| | | |
|---|---|---|
| **Eficiencia Energética** | Limitación demanda y consumo | - HE 0<br>- HE 1 |
| | Instalaciones Térmicas | - HE 2 - RITE |
| | Instalaciones lumínicas | - HE 3 |
| **Generación de Energía** | Generación Térmica<br>(Agua Caliente Sanitaria) | - HE 4<br>- Ordenanza Municipal Título 8 - Capítulo 1<br>- Decreto de Ecoeficiencia |
| | Generación Eléctrica | - HE 5<br>- Ordenanza Municipal Título 8 - Capítulo 2 |
| **Monitorización Energética** | Sensores y señales. Plataforma de monitorización municipal. | - Protocolo Monitorización AEB |

Independientemente de la justificación de las correspondientes normativas, la AEB vincula la proyección de edificios nZEB al cumplimiento de unos criterios energéticos de mayor ambición. Estos criterios energéticos llevan por nombre Requerimientos de Autosuficiencia Energética (*en adelante RAE*) y se definen tal y como se muestra en la Tabla II.

**Tabla II.** *Requerimientos de Autosuficiencia Energética (RAE) definidos en el PEAB.*

| | | |
|---|---|---|
| **Eficiencia Energética** | Limitación demanda<br>(Certificación Energética) | Calificación mínima B en:<br>- indicador Demanda de Calefacción<br>- indicador Demanda de Refrigeración |
| | Limitación consumo<br>(Certificación Energética) | Calificación A en:<br>- indicador de Consumo de Energía Primaria no Renovable |
| **Generación de Energía** | Generación eléctrica renovable | Máxima producción renovable fotovoltaica |
| **Monitorización Energética** | Cuantificación y balances de:<br>- energía renovable producida por los diferentes sistemas instalados<br>- rendimiento de las máquinas generadoras de energía (fotovoltaica, solar térmica y bombas de calor). | |

Los RAE son de obligado cumplimiento para aquellos edificios de nueva construcción o aquellos edificios existentes sometidos a una rehabilitación integral, *i.e.* aquellos edificios en los que se plantee mejorar las características térmicas del envolvente térmico y la sustitución de algún sistema energético de mayor rendimiento.

A nivel de eficiencia energética, los RAE vinculan la conceptualización del edificio nZEB a los resultados de la certificación energética (Tabla II). Por consiguiente, la separata de energía debe incorporar la etiqueta de calificación de eficiencia energética, (i) en fase de proyecto (Fig. 1a) para la separata de energía del proyecto ejecutivo y (ii) del edificio acabado (Fig. 1b) para la separata de energía del proyecto *As-Built*. La incorporación al proyecto de las correspondientes etiquetas de calificación garantiza que, bajo la supervisión del organismo competente, el procedimiento de certificación energética se ha desarrollado favorablemente.

(a) (b)

**Figura 1.** *Etiquetas de calificación de eficiencia energética. (a) Etiqueta en fase de proyecto y (b) etiqueta del edificio acabado.*

La AEB requiere que las certificaciones aportadas sean lo máximo representativas del comportamiento real del edificio. Es necesario comprobar que existe una la trazabilidad completa de resultados entre el informe de la certificación energética y el contenido de la memoria. Es decir, las características técnicas de los sistemas energéticos descritas en la separata de energía deben ser exactamente las mismas que las incorporadas en la certificación energética. En el caso de diseñar edificios que incorporen sistemas que no puedan ser simulados en los programas oficiales de certificación, *i.e.* estrategias de reducción de la demanda energética o sistemas de climatización con recuperación de calor y/o frío, el PEAB exige la incorporación en el proyecto de simulaciones dinámicas que ofrezcan resultados fiables representativos del comportamiento real del edificio.

En cuanto a generación de energía, los RAE establecen que los edificios de titularidad municipal se proyecten considerando la máxima generación eléctrica renovable posible mediante la instalación de sistemas fotovoltaicos. Cabe destacar que esta potencialidad de generación eléctrica puede ir más allá del autoconsumo del edificio, dado que los excedentes de energía serán gestionados por la comercializadora eléctrica pública, Barcelona Energía, o bien compensados, de acuerdo a lo que permite la normativa de autoconsumo en vigor.

En este sentido, el PEAB establece que la separata de energía debe incorporar un estudio de potencialidades generadoras del edificio, incluyendo cubiertas y fachadas con un asoleamiento adecuado. No obstante, la maximización de la cobertura de generación renovable puede quedar supeditada a posibles limitaciones técnicas, urbanísticas o de seguridad y salud. A nivel técnico, la AEB recomienda el uso de paneles fotovoltaicos con un rendimiento superior al 17%.

Referente al tercer gran bloque, el PEAB establece que aquellos edificios con una superficie construida superior a 1.500 $m^2$ y que dispongan de algún sistema de generación renovable sean susceptibles a ser monitorizados. De acuerdo al PEAB, el sistema de monitorización que se debe definir en la memoria consiste en el diseño de un sistema capaz de obtener de los consumos energéticos del edificio, *i.e.* electricidad y gas natural, así como las producciones térmicas y eléctricas renovables de los sistemas instalados en el edificio. En todos los casos se deben incorporan sondas de temperatura y humedad relativa con el objetivo de corregir los datos con los correspondientes parámetros ambientales.

A parte de los sensores de medida, el proyecto debe incorporar la definición de los equipos de adquisición y almacenamiento de datos, *i.e.* la *RTU-Datalogger*, capaces de enviar la información a

la Plataforma de Sensores y Actuadores de Barcelona (*en adelante SENTILO*). Esta plataforma municipal es la encargada de recoger la información emitida por todos los sensores distribuidos por la ciudad. Toda la información adquirida por SENTILO relacionada con los consumos energéticos y generación de energía en los edificios es enviada a un servidor propiedad de la AEB, del cual se obtienen los datos para alimentar el sistema de gestión y visualización (Fig. 2).

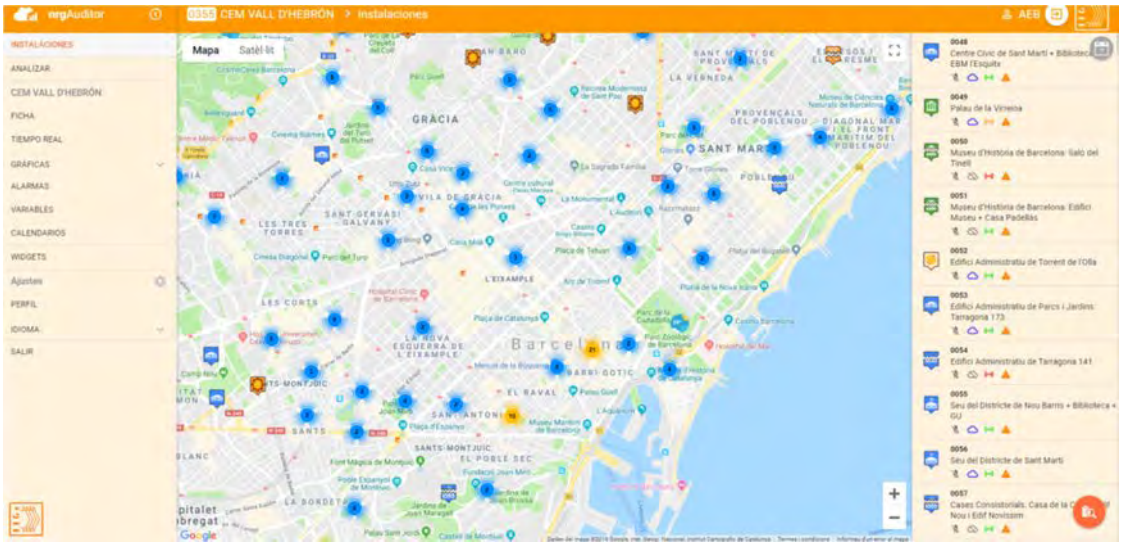



**Figura 2.** *Plataforma de gestión y visualización de la monitorización de edificios municipales.*

Por último, la AEB establece una serie de recomendaciones a considerar para el diseño energético de los edificios. Estas se resumen a continuación:

- Definir envolventes térmicos con sistemas constructivos tomando como referencia las transmitancias que se establecen en el Apéndice E del el Documento Básico HE1 [Ministerio de Fomento (2013)].
- En el caso de proyectar la calefacción con sistemas de bomba de calor, usar máquinas con SCOP superior a 3,5 y recuperación de calor.
- Diseñar la iluminación con sistemas tipo LED.
- Integrar los paneles fotovoltaicos en la solución arquitectónica.
- Incorporar en la justificación de la generación eléctrica fotovoltaica un estudio de prevención de riesgos laborales, tanto en fase de ejecución como en fase de explotación y mantenimiento.

En cuanto a los proyectos de reforma parcial de los equipamientos, los RAE no son de aplicación. No obstante, el PEAB dispone que la AEB deba informar este tipo de proyectos, siempre y cuando se sustituya de forma integral algún sistema energético. Es decir, se requiere aportar una separata de energía debidamente estructurada que justifique los diferentes aspectos normativos, siempre y cuando el objeto de la reforma les sea de aplicación. Además, la separata debe incorporar también la etiqueta de calificación de eficiencia energética, en fase de proyecto (Fig. 1a) y del edificio acabado (Fig. 1b), para la documentación del proyecto ejecutivo y *As-Built*, respectivamente.

## 3. RESULTADOS

La Tabla III muestra los indicadores energéticos más relevantes de los proyectos informados por la AEB desde enero de 2017. En total se incluyen los datos de 23 edificios, cinco de ellos informados antes de la publicación del PEAB. Todos los edificios analizados son del ámbito terciario.

**Tabla III.** *Indicadores energéticos de los proyectos municipales informados por la AEB (Enero 2017 – Actualidad).*

| Referencia Proyecto | Uso | Actuación(†) | Superficie Construida ($m^2$) | Superficie Certificada ($m^2$) | Calificación EPnR | Consumo EPnR ($kWh/m^2 \cdot año$) | Calificación Demanda Calefacción | Demanda Calefacción ($kWh/m^2 \cdot año$) | Calificación Demanda Refrigeración | Demanda Refrigeración ($kWh/m^2 \cdot año$) | Potencia pico fotovoltaica instalada (kWp) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Proyecto 114 | Deportivo | ON | 7219,3 | 5342,6 | A | 12,40 | C | 31,45 | C | 9,23 | 50,56 |
| Proyecto 133 | Casal | RI | 922,9 | 893,2 | B | 91,39 | E | 33,21 | B | 37,27 | 0,00 |
| Proyecto 153 | Casal | ON | 2359,2 | 1996,9 | A | 60,02 | C | 45,44 | B | 27,27 | 60,52 |
| Proyecto 173 | Social | RI | 371,9 | 321,8 | B | 82,80 | E | 35,40 | F | 46,30 | 0,00 |
| Proyecto 184 | Docente | RI | 3405,4 | 2826,3 | A | 159,60 | B | 16,53 | D | 10,87 | 33,17 |
| **PUBLICACIÓN DEL PEAB** | | | | | | | | | | | |
| Proyecto 097 | Deportivo | ON | 4430,7 | 3360,0 | A | 45,13 | A | 1,23 | B | 41,11 | 97,50 |
| Proyecto 161 | Mercado | ON | 2518,0 | 2373,0 | A | 44,12 | B | 21,35 | B | 10,58 | 14,40 |
| Proyecto 161b | Mercado | ON | 678,7 | 650,0 | A | 58,03 | B | 8,79 | B | 6,78 | 8,05 |
| Proyecto 166b | Polivalente | ON + RI | 1882,6 | 1632,1 | A | 46,53 | C | 22,46 | B | 14,69 | 14,40 |
| Proyecto 167 | Casal | ON + RI | 755,0 | 559,1 | A | 91,11 | B | 27,59 | C | 23,18 | 0,00 |
| Proyecto 168 | Casal | ON | 368,0 | 283,5 | A | 46,77 | B | 7,92 | B | 25,58 | 2,65 |
| Proyecto 169 | Singular | ON | 2815,0 | 2575,2 | A | 2,39 | B | 25,75 | B | 10,87 | 21,45 |
| Proyecto 170 | Social | ON | 1593,6 | 1328,7 | A | 80,74 | B | 29,48 | B | 18,25 | 14,00 |
| Proyecto 172 | Polivalente | ON | 5397,0 | 4922,3 | A | 37,53 | A | 2,35 | C | 21,33 | 44,54 |
| Proyecto 176 | Deportivo | ON | 1970,8 | 284,6 | A | 85,16 | B | 23,90 | A | 0,56 | 0,00 |
| Proyecto 176b | Deportivo | ON | 147,9 | 80,8 | A | 77,84 | B | 43,18 | A | 1,47 | 0,00 |
| Proyecto 181 | Social | ON + RI | 2640,1 | 2504,0 | A | 61,38 | B | 109,75 | B | 46,11 | 24,30 |
| Proyecto 183 | Deportivo | ON | 672,0 | 371,1 | A | 129,96 | B | 36,43 | B | 0,94 | 17,85 |
| Proyecto 183b | Deportivo | ON | 126,6 | 46,8 | A | 39,74 | B | 16,72 | B | 22,19 | 0,00 |
| Proyecto 197 | Casal | ON | 1340,7 | 1151,6 | A | 15,73 | B | 19,13 | B | 8,40 | 13,44 |
| Proyecto 199 | Casal | RI | 1509,3 | 1103,0 | A | 45,87 | B | 16,64 | B | 11,49 | 4,26 |
| Proyecto 206 | Docente | ON | 3871,3 | 3259,7 | A | 14,30 | B | 7,71 | C | 9,48 | 26,73 |
| Proyecto 207 | Docente | ON | 3827,3 | 3403,3 | A | 17,83 | B | 9,12 | C | 10,83 | 26,73 |

(†) ON: Obra Nueva; RI: Rehabilitación Integral.

De acuerdo a los resultados obtenidos (Tabla III), se puede observar como la totalidad de los proyectos informados después de la publicación del PEAB obtuvieron una calificación A en el indicador de energía primaria no renovable (*en adelante EPnR*), cumpliendo estrictamente con uno de los RAE. No obstante, el porcentaje de cumplimiento de los criterios disminuye si se analizan las demandas de calefacción y refrigeración, siendo del 94% y 78% respectivamente.

Resulta importante subrayar que todos los datos incluidos en la Tabla III relacionados con la demanda y el consumo hacen referencia a la certificación energética en fase de proyecto. Actualmente, aún no se disponen datos definitivos referentes a los edificios acabados.

En cuanto al efecto de los RAE sobre la demanda energética de calefacción y refrigeración de los edificios, la Fig. 3 muestra, para cada proyecto post publicación del PEAB, una comparativa entre la demanda conjunta obtenida considerando los RAE y la demanda conjunta límite para cumplir con los requerimientos normativos del Documento Básico HE1 – Limitación de la demanda energética [Ministerio de Fomento (2013)]. En esta figura también se incluye el porcentaje de ahorro de la demanda conjunta respecto la demanda conjunta del edificio de referencia (Fig. 3, eje secundario).

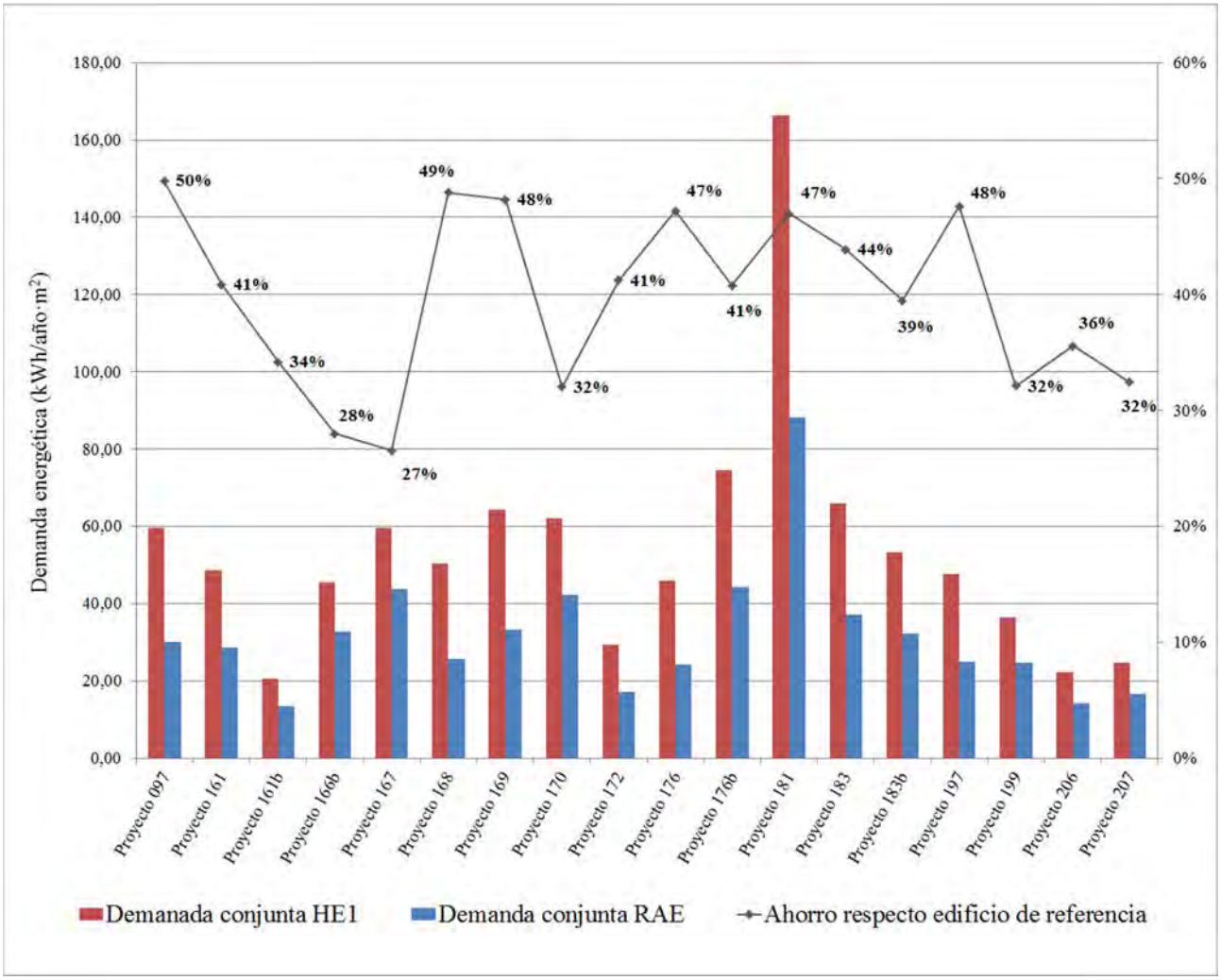



**Figura 3.** *Análisis comparativo de la demanda energética conjunta de los proyectos informados a posteriori de la publicación del PEAB.*

Se comprueba que en todos los casos existe una reducción de la demanda conjunta de calefacción y refrigeración significativa respecto a los límites establecidos por la normativa. Concretamente, el

ahorro promedio de la demanda conjunta respecto a la demanda de los correspondientes edificios de referencia es del 40%, un 59% superior al ahorro requerido por la normativa.

De forma similar a la Fig. 3, la Fig. 4 analiza la repercusión del PEAB en el consumo de EPnR respecto los criterios estrictamente normativos. El gráfico muestra el consumo EPnR obtenido en la certificación del proyecto contrapuesto a una estimación del consumo EPnR normativo. Esta estimación se ha obtenido calculando el promedio entre los valores extremos de la escala de referencia correspondientes a la calificación B del indicador EPnR (calificación mínima normativa que estable para edificios terciarios tanto el Documento Básico HE0 – Limitación del consumo de energía [Ministerio de Fomento (2013)] como la Instrucción Técnica para la aplicación de criterios de sostenibilidad en proyectos de obras [Ayuntamiento de Barcelona (2018)]). Además, se incluye una estimación del ahorro en EPnR derivado directamente de la exigencia de los RAE, considerando una vida útil de los edificios de 50 años (Fig. 4, eje secundario).

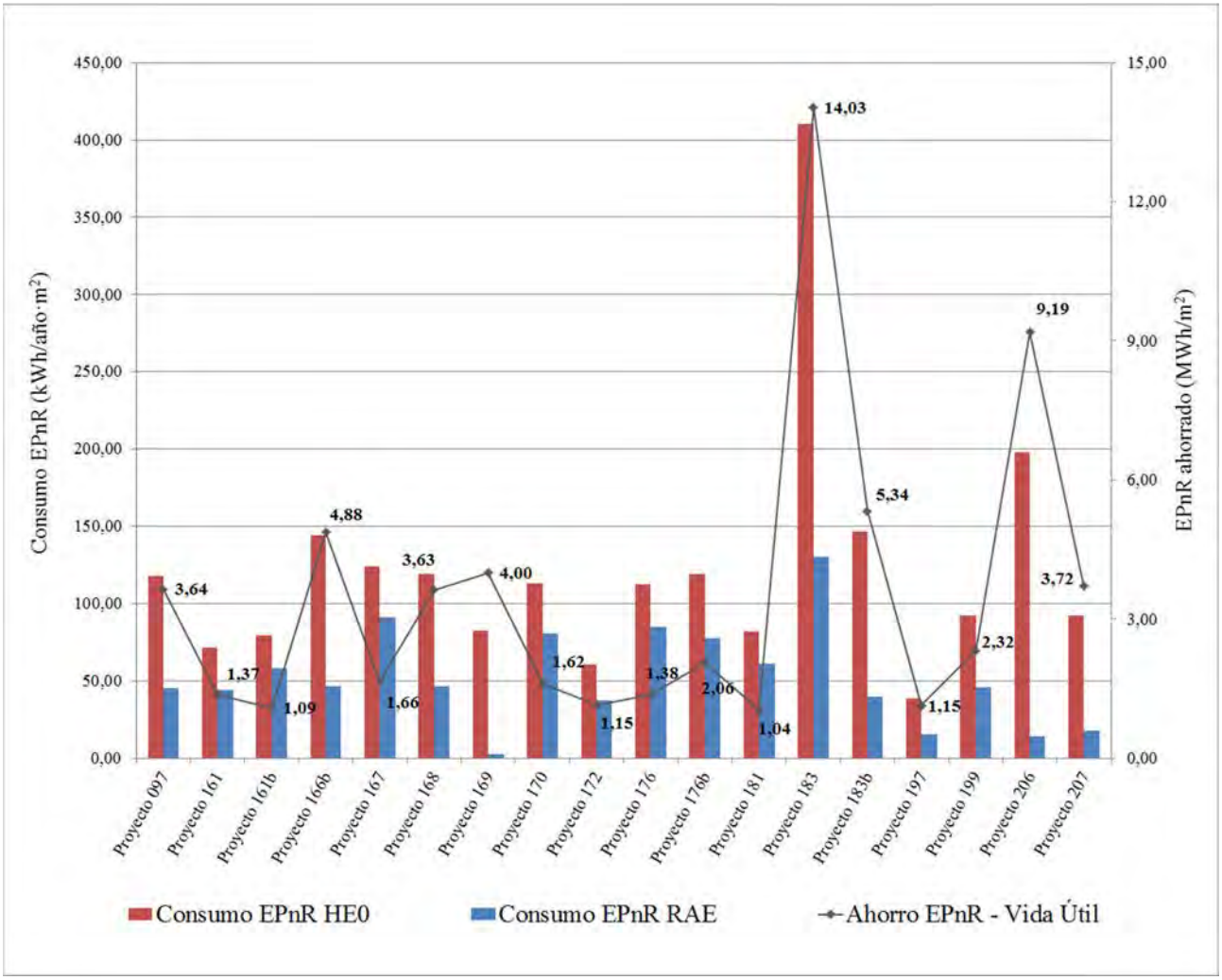



**Figura 4.** *Análisis comparativo del consumo EPnR de los proyectos informados a posteriori de la publicación del PEAB.*

Análogamente al análisis de la demanda energética, se observa que en todos los casos existe una reducción significativa del consumo de EPnR gracias a la aplicación del PEAB. En este sentido, considerando que se mantienen los condicionantes de proyecto a lo largo de la vida útil de los edificios, se estima una reducción del consumo de EPnR de 99,39 GWh y una reducción de emisiones de 7742 tn$CO_2$ respecto los criterios normativos.

Tal y como se ha comentado en el apartado 2, los RAE establecen disponer en todos los proyectos la máxima producción de energía eléctrica fotovoltaica posible. Previo a la publicación del PEAB, la normativa más restrictiva en cuanto a disposición de instalaciones fotovoltaicas en edificios era la Ordenanza de Medio Ambiente [Ayuntamiento de Barcelona (2011)] de la ciudad de Barcelona (*en adelante OMA*). En ella se establece que se debe disponer instalaciones fotovoltaicas que cubran una potencia mínima de 7 Wp/m$^2$ en edificios terciarios cuya superficie construida sea superior a 1500 m$^2$. La Fig. 5 compara las potencias de las instalaciones fotovoltaicas proyectadas con las potencias mínimas necesarias según normativa.

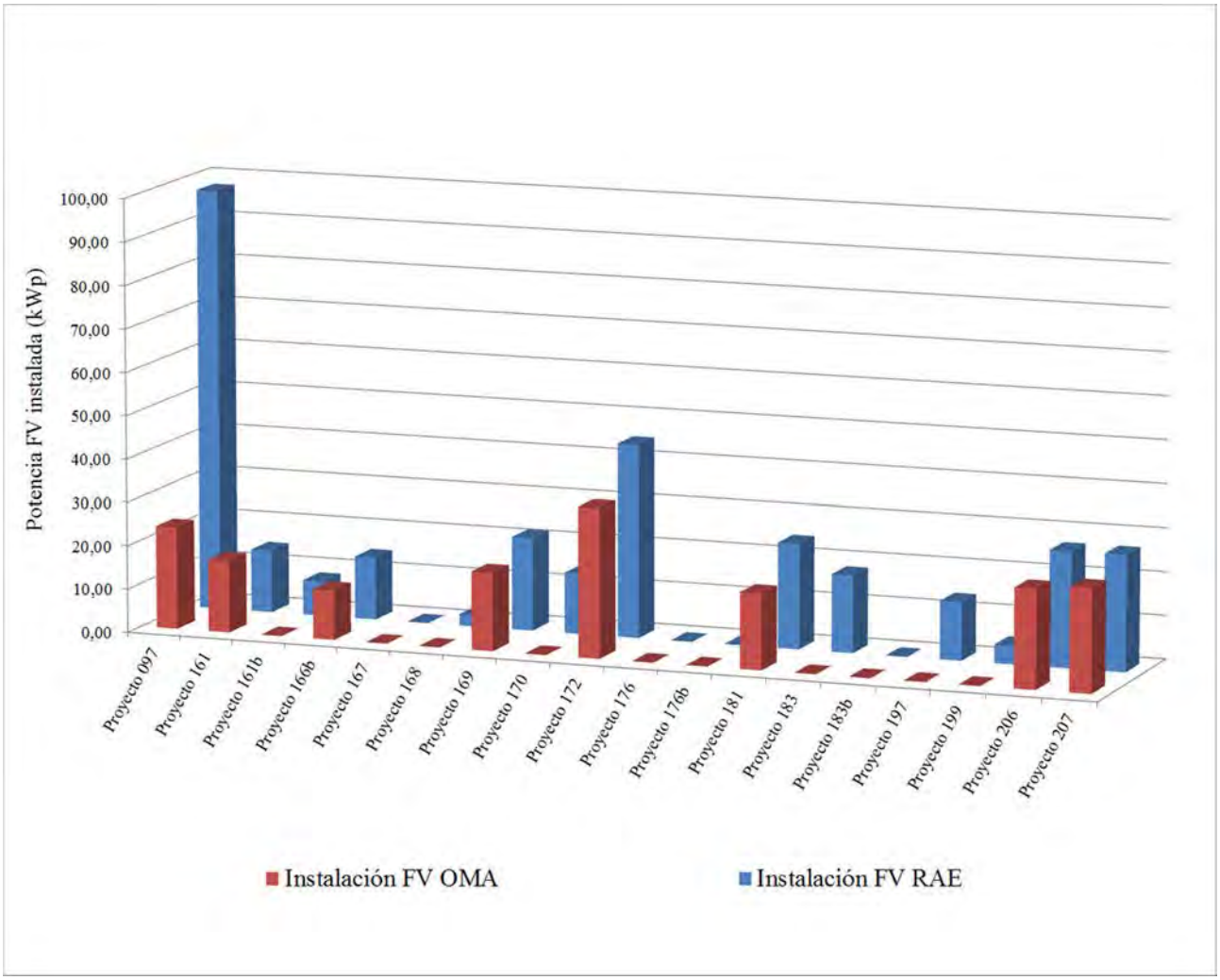



**Figura 5.** *Análisis comparativo de las instalaciones fotovoltaicas de los proyectos informados a posteriori de la publicación del PEAB.*

De acuerdo a los valores analizados, en el 72% de los proyectos se aumentó la potencia fotovoltaica instalada respecto al mínimo establecido por la OMA [Ayuntamiento de Barcelona (2011)]. En valores absolutos, el conjunto de proyectos desarrollados después de la publicación del PEAB ha previsto la instalación de elementos generadores fotovoltaicos con una potencia total instalada de 330 kWp, incrementando en 162 kWp los mínimos exigidos por la normativa.

Por otro lado, cabe destacar que en cuatro de los 18 edificios no se proyecta ninguna instalación de generación eléctrica renovable. En todos los casos, las causas fueron limitaciones técnicas o urbanísticas que impidieron su inclusión.

En relación al seguimiento energético de los edificios municipales una vez puestos en servicio, el sistema de monitorización de la AEB está gestionando 6326 variables energéticas que permiten realizar análisis de los sistemas energéticos eléctricos y térmicos, así como obtener los balances energéticos y contextualizarlos con las variables analógicas de temperatura y humedad (Fig. 6 y Fig. 7).

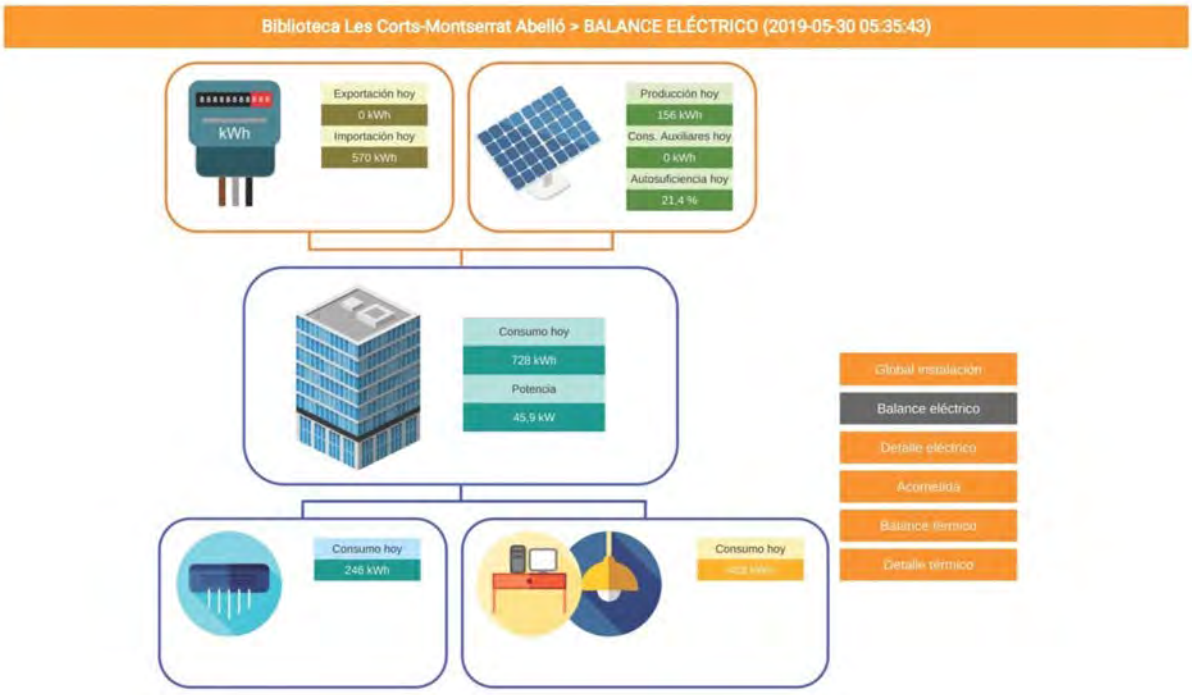



**Figura 6.** *Balance eléctrico en tiempo real extraído del sistema de gestión de la monitorización de la AEB.*

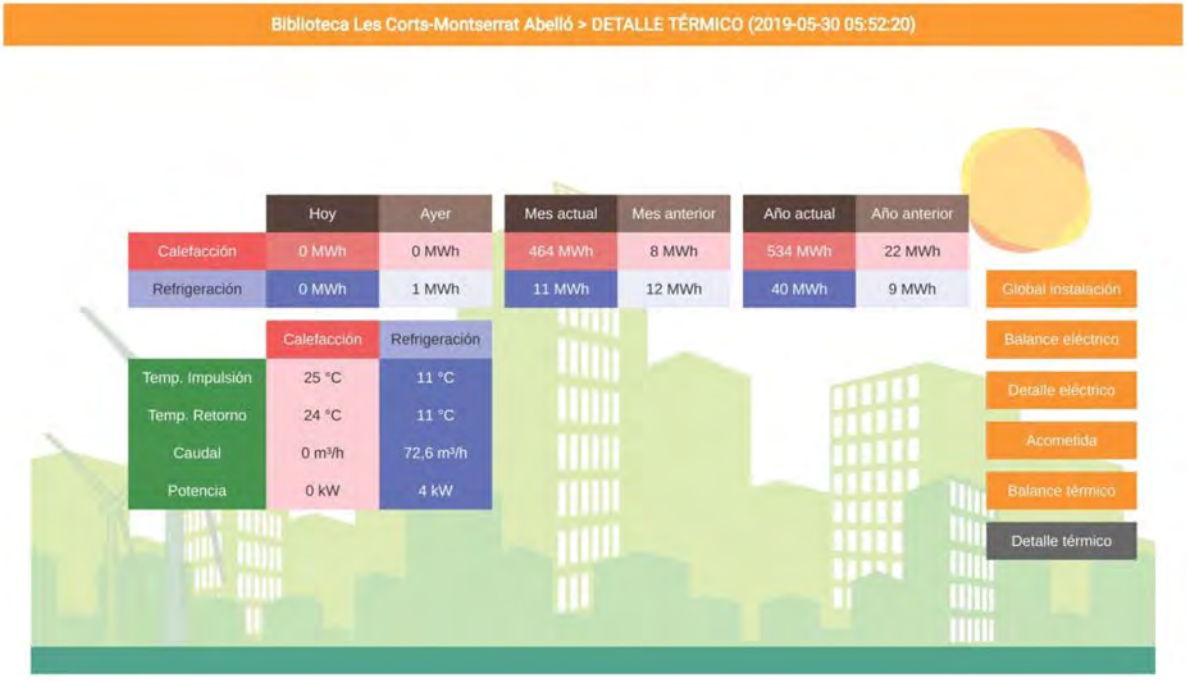



**Figura 7.** *Detalle térmico extraído del sistema de gestión de la monitorización de la AEB.*

De forma concreta, actualmente se están recibiendo datos del consumo de 119 edificios municipales, así como valores de generación energética de 57 instalaciones solares fotovoltaicas y de 10 instalaciones solares térmicas ubicadas en las cubiertas de los edificios. Estos datos permiten realizar una gestión energética de la explotación de los equipamientos, detectando anomalías de comportamiento a corto plazo y aplicando las correspondientes acciones correctoras.

Por último, se realiza un análisis de las repercusiones administrativas que ha supuesto la publicación del PEAB y el incremento de exigencias energéticas asociado. La siguiente figura muestra una distribución de los expedientes evaluados en función del número de informes emitidos desde la recepción del proyecto ejecutivo hasta la emisión de informe por parte de la AEB con una calificación suficiente para poder licitarse la obra del edificio (calificación B en el informe dela AEB). Además se incluye el promedio de informes emitidos para el conjunto de proyectos informados de forma previa y posteriormente a la publicación del PEAB.

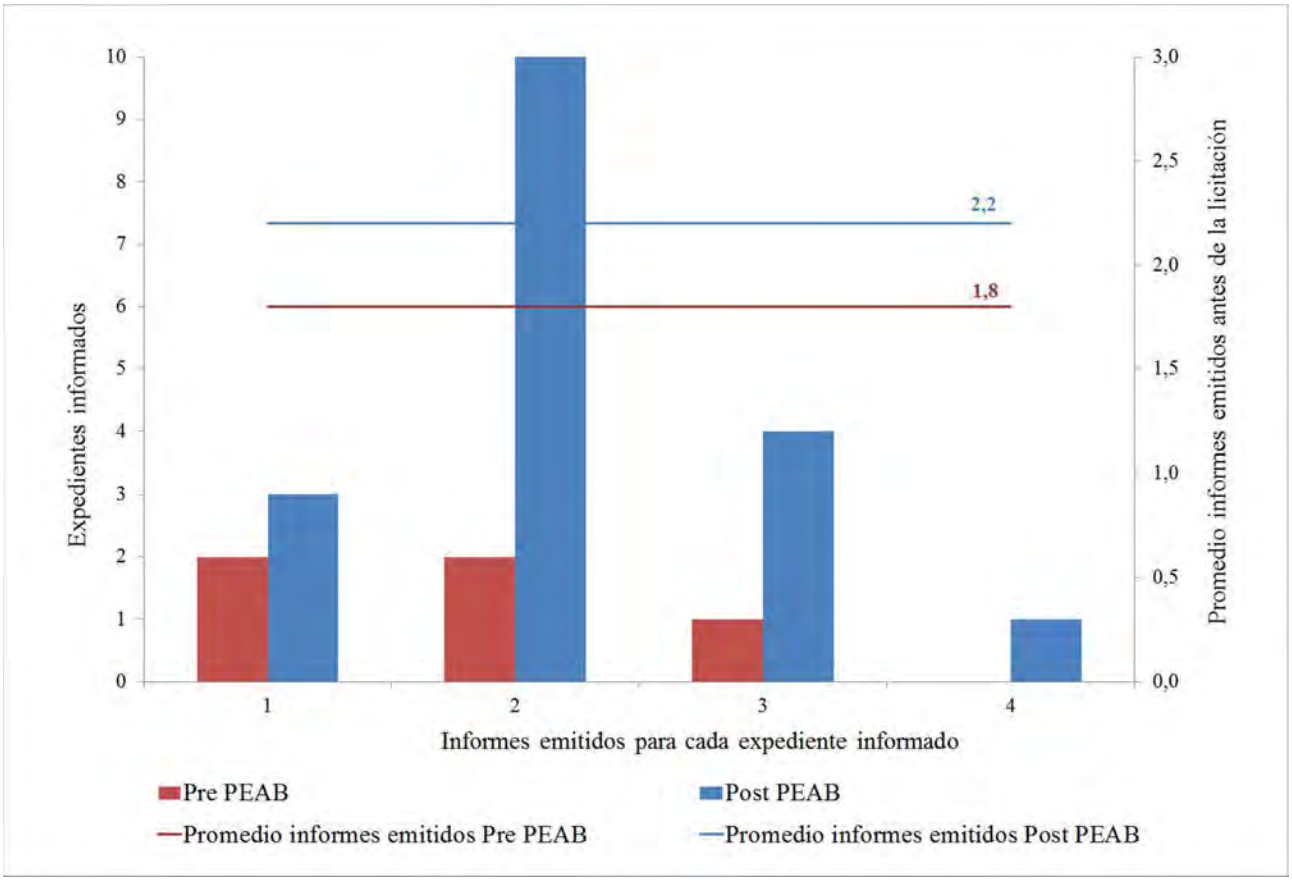



**Figura 8.** *Distribución de informes emitidos por proyecto y promedio. Datos comparativos de los proyectos informados antes y después de la publicación del PEAB.*

Se puede observar en la Fig. 8 cómo, a raíz de la publicación del PEAB, el promedio de informes emitidos antes de la licitación de los proyectos ha aumentado un 22%. De forma similar, y con los datos disponibles, se comprueba que el período de tiempo de desarrollo del proyecto ejecutivo previo a su aprobación definitiva ha aumentado en un 56%.

## 4. DISCUSIÓN

El presente apartado pretende reflexionar sobre los resultados energéticos obtenidos a raíz del análisis de los proyectos municipales informados a lo largo del primer año de aplicación del PEAB.

Primero de todo, se puede constatar que la mayoría de los edificios proyectados fueron diseñados energéticamente para dar cumplimiento a los criterios que establece la AEB para los edificios nZEB (Tabla III). Este hecho ha comportado en todos los casos una reducción de la demanda conjunta de calefacción y refrigeración, así como una disminución significativa del consumo de EPnR con respecto a los mínimos normativos establecidos (Fig. 3 y Fig. 4).

No obstante, se constata que no siempre resulta posible proyectar los edificios justificando el cumplimiento de los RAE. Este hecho se observa principalmente en el caso de la limitación de la demanda energética. Se puede comprobar como en algunos proyectos no se alcanza la calificación B en demanda de calefacción o en demanda de refrigeración (Tabla III, columna 8 y columna 10).

En el caso de la demanda de calefacción, uno de los factores limitantes detectados en proyectos de rehabilitación integral es la no renovación de todas las partes del envolvente térmico. De forma concreta, se constata la dificultad de cumplir con los requerimientos que establece el PEAB en aquellos casos en los que el proyecto deja fuera del ámbito de actuación la sustitución o mejora de determinadas partes del envolvente térmico del edificio existente (habitualmente soleras y huecos) que presentan transmitancias elevadas (*proyecto 166b*).

En cuanto a la demanda de refrigeración, se identifican dos motivos para no alcanzar la calificación B en la certificación energética. El primero está relacionado con el diseño de edificios cuyo programa funcional contempla elevadas cargas térmicas en espacios concretos, tales como edificios docentes o equipamientos polivalentes con previsiones de alta ocupación (*proyectos 172, 206 y 207*). El segundo motivo reside en la imposibilidad de representar sistemas o estrategias pasivas avanzadas en los programas actualmente disponibles para la certificación energética (*proyecto 167*). En este segundo caso, se realizaron simulaciones dinámicas complementarias en las que se incorporaron todos los sistemas, obteniendo resultados de demanda de refrigeración significativamente inferiores a los proporcionados por el programa de simulación.

Por otro lado, se establece en el PEAB la realización de las simulaciones con unos perfiles de uso que establezcan temperaturas de consigna que se ajusten al comportamiento real de los espacios. En este sentido, la AEB requiere utilizar una temperatura de consigna alta de 26ºC en aquellos espacios refrigerados (artículo I.T 3.8.2 del RITE [Ministerio de Industria, Energía y Turismo (2013)]) en lugar de los 25ºC que se establecen en los perfiles por defecto incluidos en el Documento Básico HE1 [Ministerio de Fomento (2013)].

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla III, se puede comprobar que reducir al máximo la demanda energética de los edificios y cubrir sus necesidades con instalaciones de generación de energía renovable y sistemas energéticos de muy alta eficiencia resulta una estrategia eficaz en la reducción del consumo de EPnR. En este sentido, diseñar edificios energéticamente pasivos hace que el nivel de consumo del edificio no esté sujeto al rendimiento estacional de los equipos a lo largo de su vida útil, pudiéndose considerar nZEB aquellos edificios cuyas instalaciones estuvieran en fase de depreciación.

A nivel de generación, la aplicación del PEAB ha supuesto incrementar en un 96% la potencia de las instalaciones fotovoltaicas respecto el mínimo establecido por la normativa (Fig. 5). Esto supone un incremento de la energía eléctrica generada de aproximadamente 210 MWh anuales.

Si bien es cierto que en la mayoría de proyectos se cubrieron gran parte de los potenciales solares de las cubiertas, en ninguno de los casos analizados se realizaron instalaciones fotovoltaicas en

fachadas energéticamente útiles. Por lo tanto, no se puede afirmar que en todos los proyectos se agotara la máxima potencialidad solar generadora, incumpliendo así los requerimientos establecidos en el PEAB.

Respecto al sistema de monitorización de los edificios proyectados posteriormente a la publicación del PEAB, el diseño de esta instalación en la etapa de proyecto permite planificar de forma integral los sensores necesarios para controlar los rendimientos de los equipos instalados y obtener los balances energéticos de los edificios en tiempo real. La recopilación de estos datos y su posterior análisis facilitará a la AEB la definición de acciones de ahorro y eficiencia en las instalaciones municipales.

Por último, el análisis de la Fig. 8 muestra como la carga administrativa de los proyectos a raíz de la publicación del PEAB ha aumentado. Se estima que este hecho está directamente influenciado por el aumento de las exigencias energéticas que deben incorporar los proyectos. No obstante, otros factores administrativos, tales como una reformulación conceptual del diseño o modificaciones presupuestarias, han podido afectar al devenir de los proyectos analizados.

En cualquier caso, una vez se supere el periodo transitorio de adaptación de todos los agentes con respecto a las nuevas exigencias energéticas definidas por la AEB, se prevé que la carga administrativa debida a la entrada en vigor del PEAB se reduzca, llegando incluso a disminuir la existente previa a su aplicación.

## 5. CONCLUSIONES

El presente artículo ha analizado exhaustivamente el impacto que ha tenido la publicación del PEAB en el desarrollo de los proyectos edificatorios en el ámbito municipal de la ciudad de Barcelona.

Se ha comprobado como el PEAB ha resultado ser una herramienta robusta y eficaz para el diseño de edificios nZEB, alcanzando en todos los casos destacadas reducciones de demanda y consumo energético respecto los mínimos establecidos por la normativa actual. Además, el criterio de máxima producción renovable fotovoltaica establecido en los RAE facilita la proyección de instalaciones generadoras en espacios en los que la regulación actual no contempla su implantación.

A nivel administrativo, se ha constatado que el periodo de un año desde la publicación del PEAB no ha sido suficiente para superar el transitorio de adaptación del conjunto de agentes involucrados en el desarrollo y supervisión de los proyectos. No obstante, medidas como la divulgación del contenido del PEAB y el acompañamiento continuado por parte de la AEB en el diseño energético de los edificios hacen prever que la carga administrativa disminuya con el paso del tiempo.

En cuanto a posibles aspectos de mejora, una de las medidas que se antoja crucial para garantizar la viabilidad del PEAB reside en promover que los resultados de las certificaciones energéticas sean representativos del comportamiento real que tendrán los edificios. En este sentido, se presume necesaria la coordinación de todas las administraciones para poner a disposición de los técnicos programas de simulación que permitan representar fehacientemente todas las estrategias bioenergéticas que pueda incorporar el edificio proyectado. A su vez, resulta imprescindible que los técnicos tomen consciencia de la importancia de la certificación energética como una herramienta determinante para valorar la calidad energética del edificio proyectado, responsabilizándose de los resultados de la misma y comprobando su total trazabilidad con el contenido del proyecto.

Otro aspecto a considerar como mejora es la búsqueda continua de potencialidades solares en los edificios a proyectar. En este sentido se prevé necesario promover la instalación de elementos de generación en fachadas solarmente útiles y la inclusión de pérgolas técnicas en cubiertas con uso definido para el aprovechamiento solar y generación de sombra.

Por otro lado, la consolidación del sistema de monitorización deberá permitir la definición de patrones de comportamiento energético de los edificios en función de su actividad, con el objetivo de utilizarlos como referencia a la hora de diseñar estrategias de mejora en ahorro y eficiencia energética de los edificios de su tipología. Además, la constitución de un histórico de datos, y su correspondiente análisis, deberán servir para contrastar el comportamiento real de los edificios con el previsto en la fase de proyecto, permitiendo extraer conclusiones e influir sobre las propuestas energéticas en proyectos futuros.

Finalmente, resultará necesario considerar el PEAB como un documento sujeto a una mejora continua, actualizando su contenido para agilizar los trámites administrativos derivados de la evaluación de los proyectos edificatorios municipales.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su más sincero agradecimiento a aquellas personas que hicieron aportaciones para la mejora del PEAB.

## 7. REFERENCIAS

AGENCIA DE ENERGIA DE BARCELONA Y SOCIEDAD ORGÁNICA-1. (2017).: “Análisis de escenarios que calificación energética en el ámbito residencial”. Barcelona.

AGENCIA DE ENERGIA DE BARCELONA Y SOCIEDAD ORGÁNICA-2. (2017).: “Análisis de escenarios que calificación energética en el ámbito de edificios terciarios”. Barcelona.

AYUNTAMIENTO DE BARCELONA. (2011).: “Ordenanza del Medio Ambiente”. Butlletí Oficial de la Província de Barcelona. Barcelona.

AYUNTAMIENTO DE BARCELONA. (2015).: “Instrucción Técnica para la aplicación de criterios de sostenibilidad en proyectos de obras”. Barcelona.

AYUNTAMIENTO DE BARCELONA. (2016).: “Medida de gobierno de Transición hacia la Soberanía Energética”. Barcelona.

AYUNTAMIENTO DE BARCELONA. (2018).: “Plan Clima de Barcelona 2018-2030”. Barcelona.

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO. (2013).: “Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios”. Madrid.

MINISTERIO DE FOMENTO. (2013).: “Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HE. Ahorro de Energía”. Madrid

MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA Y PARA LAS ADMINISTRACIONES TERRITORIALES. (2017).: “Real Decreto 564/2017, procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios”. Boletín Oficial del Estado. Madrid.

PARLAMENTO EUROPEO Y CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA. (2010).: “Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios”. Diario Oficial de la Unión Europea. Bruselas.

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

12:15 - 14:15

**SESIÓN 5 Track A. NZEB y MOVILIDAD**
Modera: David de Diego

"Retos medioambientales en el transporte marítimo, soluciones energéticas". **José Poblet.** Gerente. **COTENAVAL**

"LNGonwheels, una propuesta innovadora de suministro de GNL a pequeña y mediana escala en zonas de difícil acceso" **Miguel Duvison Santiago.** Lng Project Manager. **NATURGY**

"Protocolo de energía del Ayuntamiento de Barcelona: regulación local nZEB de los edificios municipals" **Christian Escrig Pérez.** Técnico en Eficiencia Energética. **AYUNTAMIENTO DE BARCELONA**

"El coche electrico y su papel en la descarbonización" **Javier Tomás.** Director Universidad Corporativa. **POWER ELECTRONICS**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# EL COCHE ELÉCTRICO Y SU PAPEL EN LA DESCARBONIZACIÓN

Javier Tomás Catalá

POWER ELECTRONICS
UNIVERSIDAD CORPORATIVA

aee
The Association of Energy Engineers
Spain Chapter

# Índice


1 ¿EN QUÉ LADO QUEREMOS ESTAR?

2 ESTADO ACTUAL

3 EL COCHE ELÉCTRICO

4 LA RECARGA ELÉCTRICA

# Índice


1 **¿EN QUÉ LADO QUEREMOS ESTAR?**

2 ESTADO ACTUAL

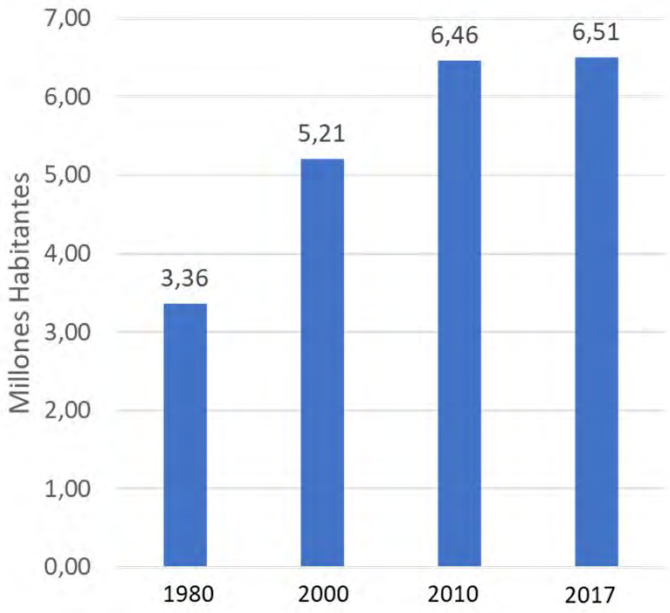
3 EL COCHE ELÉCTRICO

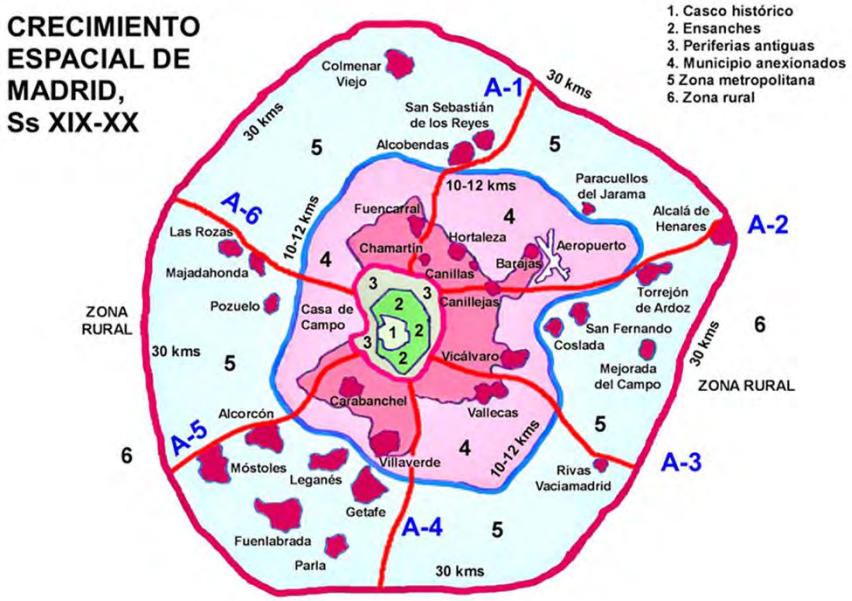
4 LA RECARGA ELÉCTRICA

2030 – 5 millones unidades

2050 – DESCARBONIZACIÓN !

# Crecimiento de población y área metropolitana Madrid 1980 - 2017



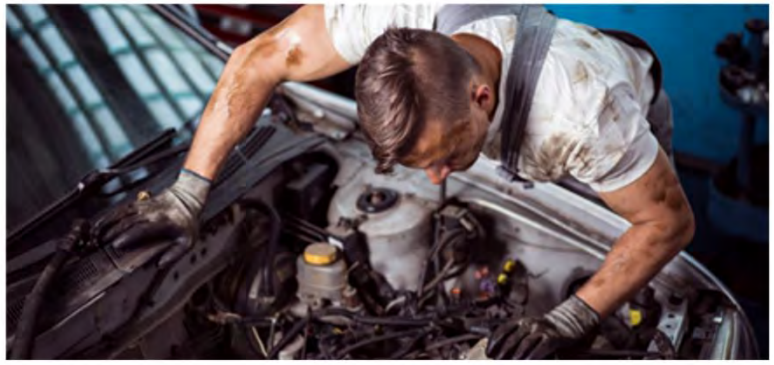

Fuente: Anuario estadístico Madrid e Instituto Nacional de Estadística

# Vehículos eléctricos vs Vehículos combustión

$\eta \uparrow\uparrow\uparrow$

VS

$\eta \downarrow\downarrow\downarrow$



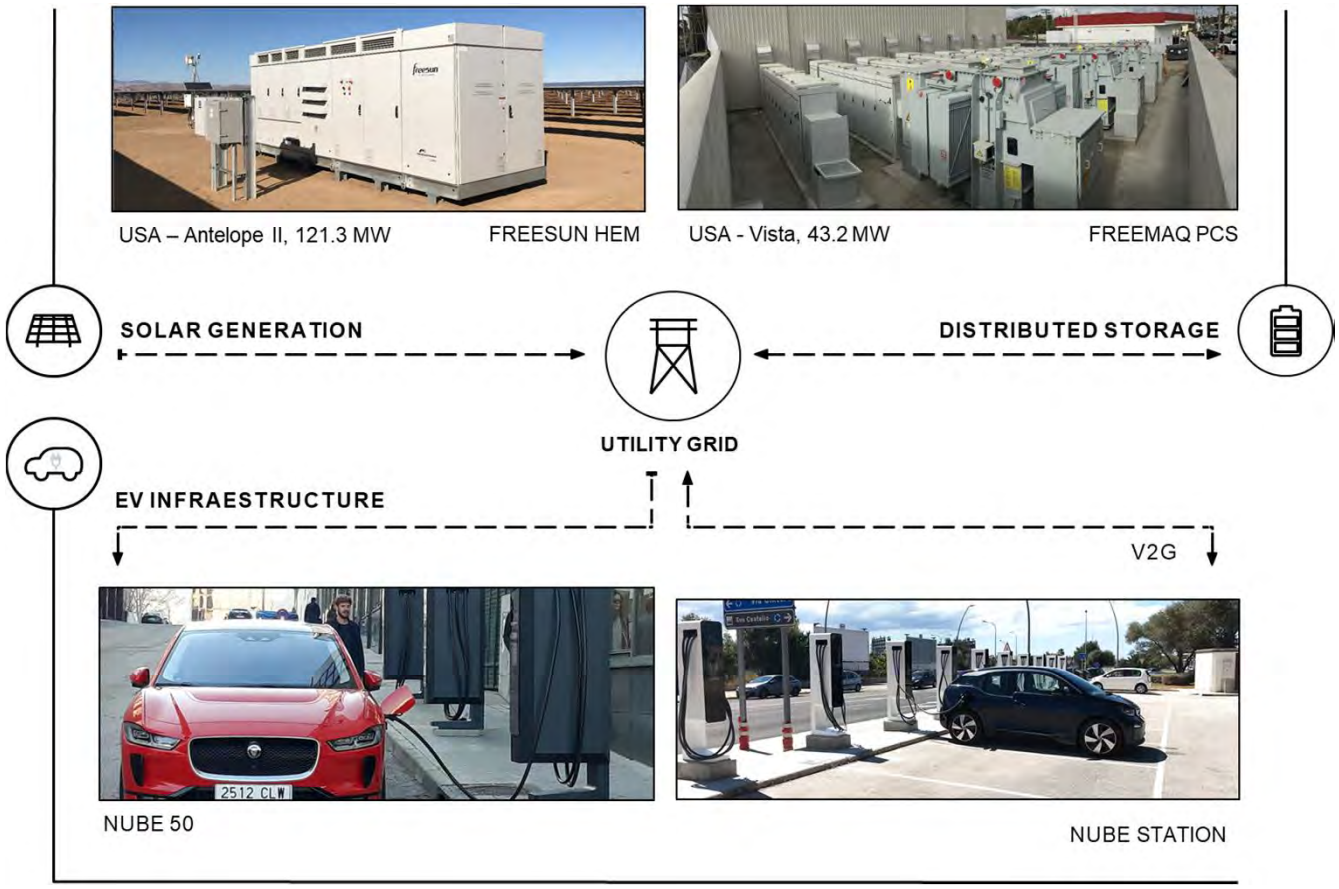
$CO_2$

NOx

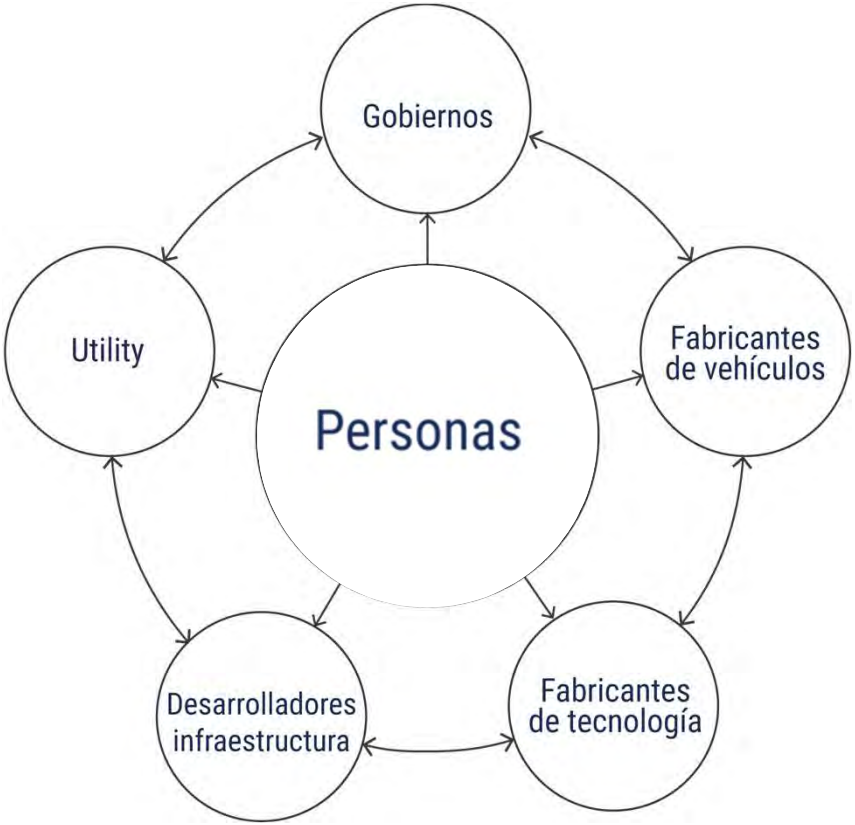


POWER ELECTRONICS
UNIVERSIDAD CORPORATIVA

# La energía del futuro



# ¿Cuando despegará la movilidad eléctrica?



¿En qué lado queremos estar?

# Índice


1 ¿EN QUÉ LADO QUEREMOS ESTAR?

2 **ESTADO ACTUAL**

3 EL COCHE ELÉCTRICO

4 LA RECARGA ELÉCTRICA

## II Congreso Internacional Ingeniería Energética

POWER ELECTRONICS
UNIVERSIDAD CORPORATIVA

# Mercado en crecimiento

# ¿Coche eléctrico es del futuro?

# ¿Vehículo eléctrico es del futuro?

# ¿Vehículo eléctrico es del futuro?

# Mercado en crecimiento

# Pros y contras del vehículo eléctrico

- ⬆ Coste de la energía
- ⬆ Mantenimiento
- ⬆ Subvenciones
- ⬆ Ventajas fiscales
- ⬆ Aparcamiento

- ⬇ Precio inicial
- ⬇ Autonomía
- ⬇ Tiempo de recarga
- ⬇ Infraestructura
- ⬇ Materias primas

# Índice


1 ¿EN QUÉ LADO QUEREMOS ESTAR?

2 ESTADO ACTUAL

3 **EL COCHE ELÉCTRICO**

4 LA RECARGA ELÉCTRICA


POWER ELECTRONICS
UNIVERSIDAD CORPORATIVA

# Partes básicas de un vehículo eléctrico

Fuente: Nissan

# Partes básicas de un vehículo eléctrico

**INVERSOR**

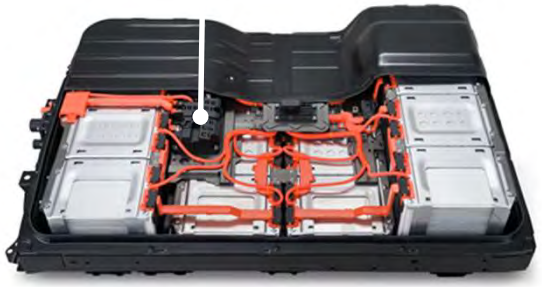
**MOTOR ELÉCTRICO**

**REFRIGERACIÓN**

**REGENERACIÓN**

**BMS**

**BATERÍA**



**MÓDULO**

Fuente: Nissan

# Índice


1 ¿EN QUÉ LADO QUEREMOS ESTAR?

2 ESTADO ACTUAL

3 EL COCHE ELÉCTRICO

4 **LA RECARGA ELÉCTRICA**


POWER ELECTRONICS
UNIVERSIDAD CORPORATIVA

# Cargadores comerciales Power Electronics

## Electrolineras

nube STATION 250 / 500

nube STATION+ 1000 / 1500 / 2000

## Postes individuales

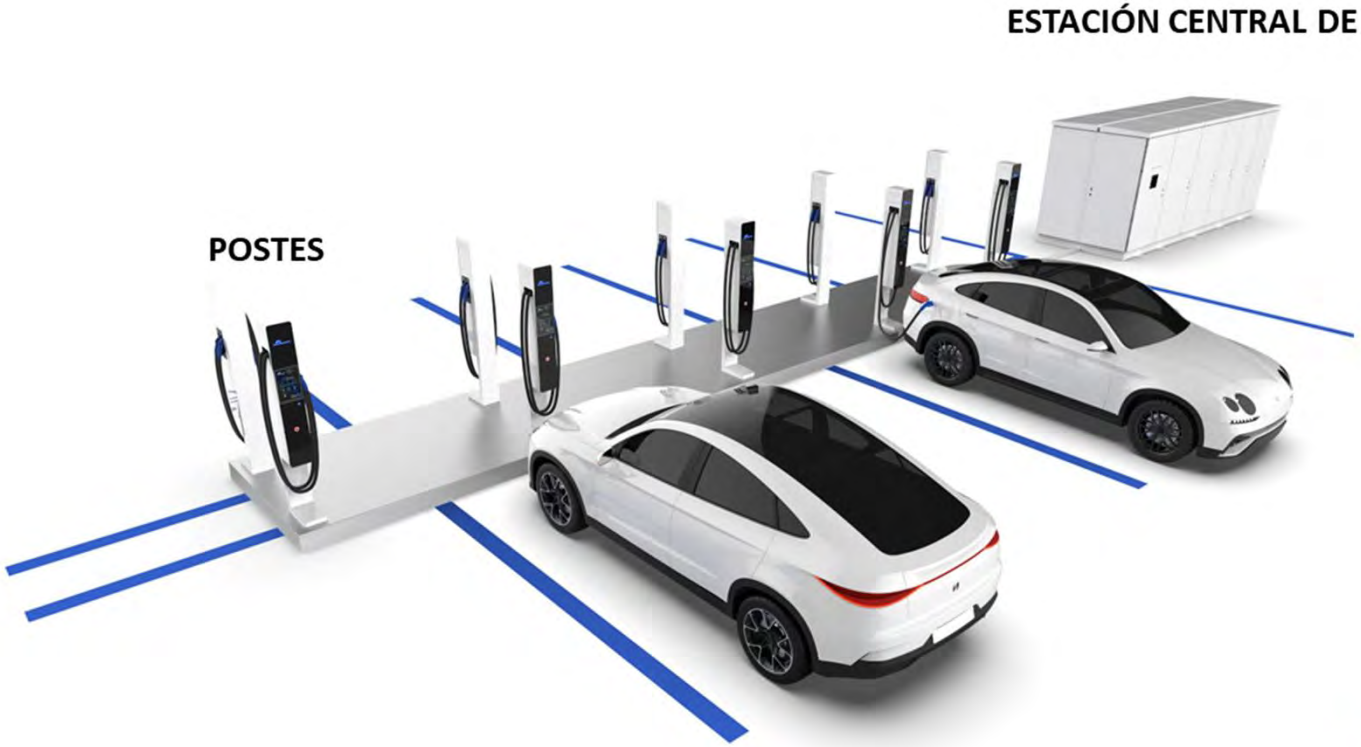
nube 50

## Doméstico Comercial

nube CITY

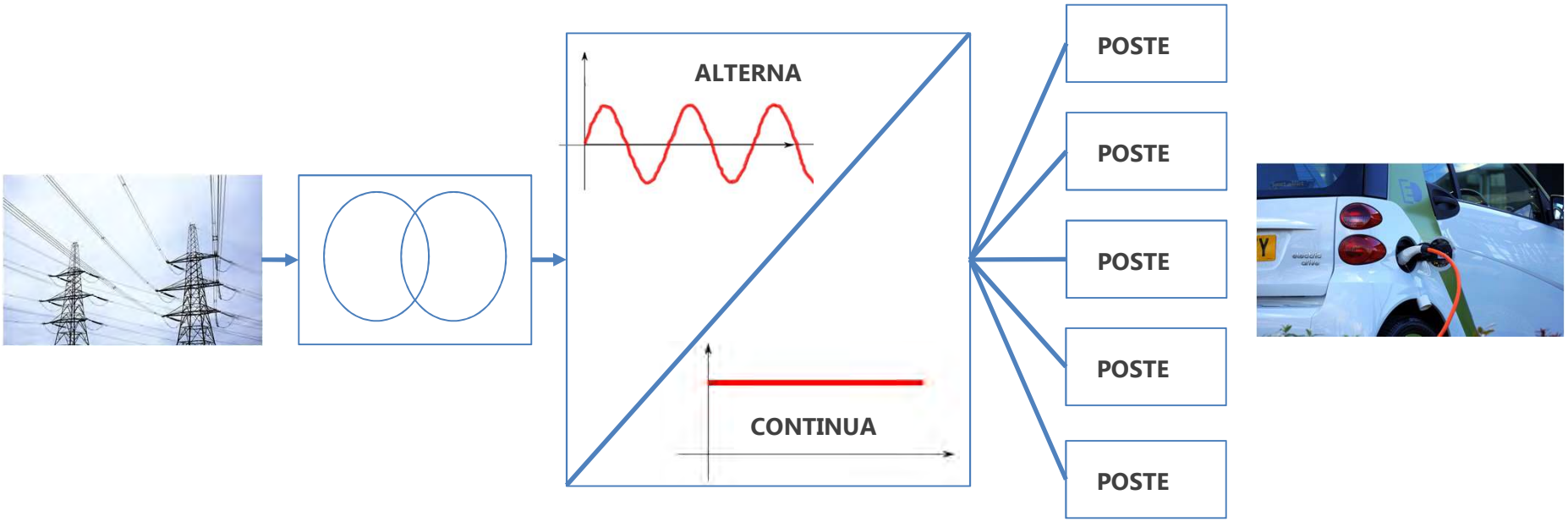
nube WALL

# Componentes principales Nube Station

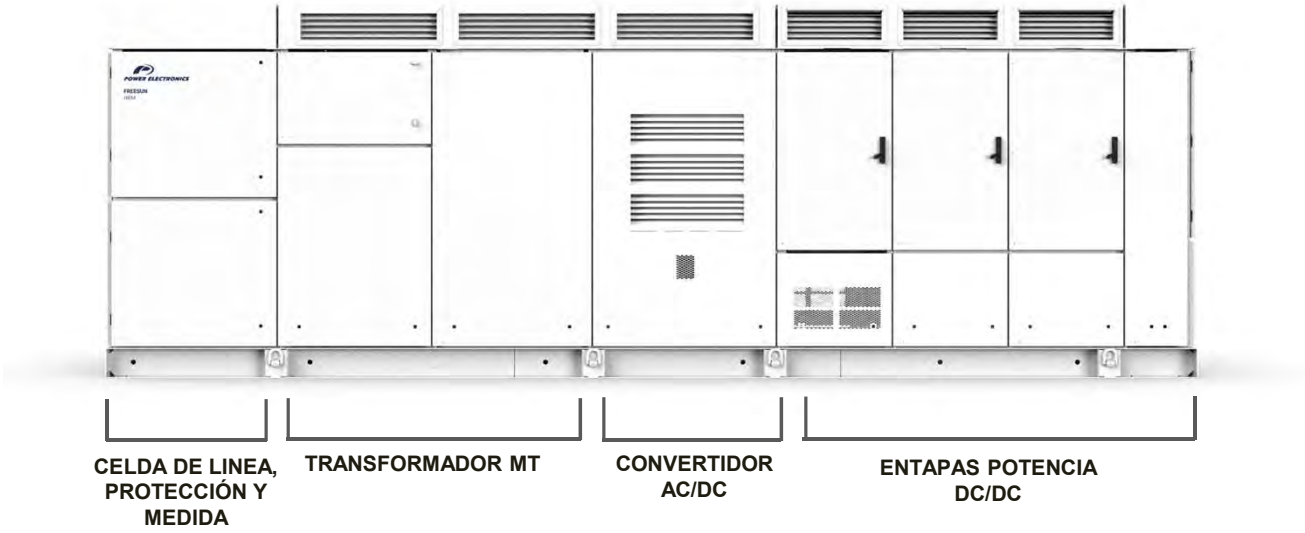



**Modo 4**

# Componentes principales Nube Station

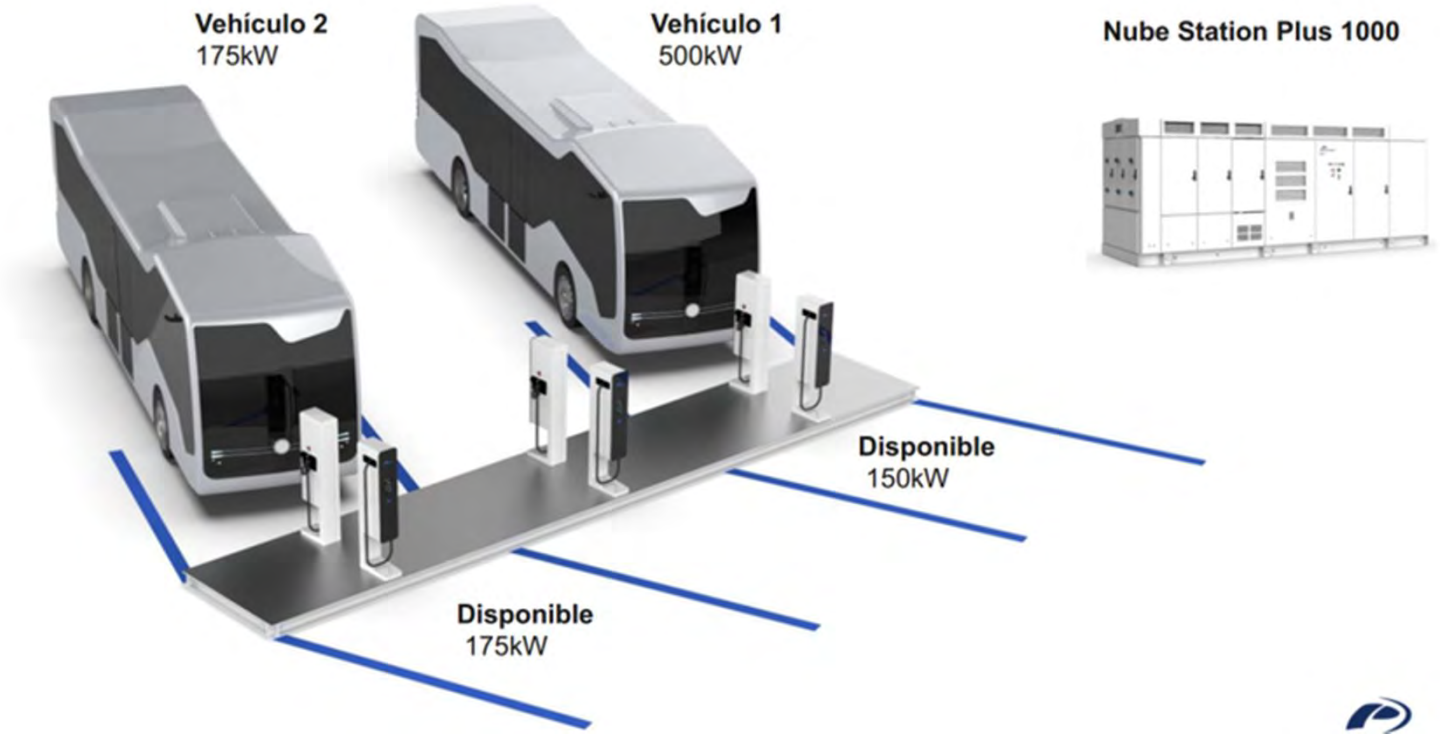


# Componentes principales Nube Station



# Componentes principales Nube Station

# Componentes principales Nube Station




Nube Station Plus 1000





POWER ELECTRONICS
UNIVERSIDAD CORPORATIVA

# Cargadores comerciales Power Electronics

## Electrolineras

nube STATION
250 / 500

nube STATION +
1000 / 1500 / 2000

## Postes individuales

nube 50

## Doméstico Comercial

nube CITY

nube WALL

# Cargadores individuales de carga rápida

## II Congreso Internacional Ingeniería Energética

POWER ELECTRONICS
UNIVERSIDAD CORPORATIVA

# Cargadores comerciales Power Electronics

## Electrolineras

nube STATION
250 / 500

nube STATION +
1000 / 1500 / 2000

## Postes individuales

nube 50

## Doméstico Comercial

nube CITY

nube WALL



POWER ELECTRONICS
UNIVERSIDAD CORPORATIVA

# Cargadores domésticos / industriales

nube WALL

nube CITY

**Modo 3**

# Cargadores comerciales Power Electronics

## Electrolineras

nube STATION
250 / 500

nube STATION +
1000 / 1500 / 2000

## Postes individuales

nube 50

## Doméstico Comercial

nube CUBO



POWER ELECTRONICS
UNIVERSIDAD CORPORATIVA

# Índice


1 ¿EN QUÉ LADO QUEREMOS ESTAR?

2 ESTADO ACTUAL

3 EL COCHE ELÉCTRICO

4 LA RECARGA ELÉCTRICA

1. Situación actual
2. Ventajas e inconvenientes del coche eléctrico
3. El coche eléctrico
4. La seguridad
5. Recarga eléctrica
6. Tipos de cargadores
7. ¿Cuánto cuesta cada recarga?
8. El futuro

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

POWER ELECTRONICS
UNIVERSIDAD CORPORATIVA

The Association of Energy Engineers
Spain Chapter

www.aeespain.org

# El coche eléctrico y su papel en descarbonización

**Javier Tomás Catalá**[1]

1 Calle Ruaya 54, 16. 46009 Valencia (España). jtomas@power-electronics.com

**Resumen:** El cambio climático es una realidad científica que, en la actualidad, pocas personas se atreven a cuestionar. La forma en la que nos movemos es uno de los ámbitos sobre los que hay que actuar, tanto las personas como las empresas tenemos la obligación de implicarnos. Debemos entender la situación y tomar decisiones que acaben solucionando un problema colectivo.

Para ello, contamos con soluciones tecnológicas como es el caso del coche eléctrico. Su implantación actual es reducida, pero es innegable su evolución y sus buenas perspectivas de futuro. El cambio de modelo hacia una movilidad más sostenible es un reto global, en el que se espera que los pros vayan superando a los contras que a día de hoy todavía existen. Pese a ellos, es innegable que el coche eléctrico va a jugar un gran papel en los objetivos europeos de descarbonización y mejora de la calidad del aire.

El cambio hacia esa nueva movilidad es imprescindible, sea mediante el coche eléctrico u otras alternativas que puedan ir apareciendo. Este cambio solo podrá ser posible si las personas entienden tanto el problema medioambiental existente como las nuevas tecnologías que van a marcar nuestro nuevo camino. Si concretamos sobre el coche eléctrico, el cual es una pequeña instalación eléctrica con ruedas, será imprescindible que todos los conductores que no son ni electricistas ni tienen estudios eléctricos, tengan claros sus principales conceptos y puedan conducirlos siendo conscientes de sus particularidades. Es un proceso que ya se produjo con la aparición de los coches de combustión hace más de 100 años, y es el momento de reaprender.

Por último, si el entendimiento del coche eléctrico es importante, aún lo es más todo lo relacionado con su recarga eléctrica. No hay movimiento de un coche sin su correspondiente repostaje, y el coche eléctrico tiene características propias que serán de vital importancia entender. La falta de conocimiento, será sin duda un gran freno para el desarrollo de una tecnología importantísima en la lucha contra el cambio climático.

**Palabras clave:** coche eléctrico, movilidad eléctrica, descarbonización, futuro, Madrid Central

## 1. TEXTO PRINCIPAL

## INTRODUCCIÓN

Nos encontramos a las puertas de una gran revolución. La forma en la que nos hemos movido durante los últimos 100 años ya no es válida para afrontar el futuro. Somos conscientes de que la evolución de la humanidad, gracias al desarrollo de las tecnologías basadas en combustibles fósiles, ha sido increíble. Hemos llegado donde nunca hubieran imaginado nuestros ancestros y disfrutamos de unas posibilidades de movimiento superlativas.

Desgraciadamente, este modelo exitoso de nuestro pasado debe cambiar radicalmente y lo hará principalmente por dos motivos. Primero, el combustible (el petróleo) que hemos empleado hasta la fecha no es infinito, su uso masivo está generando un gran problema de salud tanto para las personas como para el planeta Tierra; simplemente es insostenible continuar en la misma línea. Como segundo motivo para el cambio, la necesidad de disminuir la cantidad de vehículos que circulan por nuestras ciudades; no necesitamos ciudades colapsadas en ciertas horas, debemos dar paso a otras formas de movimiento que sean más eficientes para las actividades que realizamos.

Para que esta revolución necesaria se produzca, es muy importante que cada persona interiorice los problemas que el modelo actual de movilidad genera a nuestro alrededor y, sobre todo, al futuro de nuestras próximas generaciones. Es momento de actuar, y para ello el entendimiento y formación sobre las tecnologías que nos permitan cambiar esta situación es parte de la clave.

**Figura 1.** *El protagonismo de la contaminación en nuestras ciudades*

## ¿EN QUÉ LADO QUEREMOS ESTAR?

Como decíamos anteriormente, en el último siglo hemos tenido un gran desarrollo. Hemos evolucionado muchísimo como sociedad y en parte gracias a los medios de transporte de combustibles fósiles. Pese a ello, si queremos seguir avanzando sin llevar el planeta al colapso, debemos evolucionar y cambiar nuestros hábitos.

El trasporte consume el 27% de la energía que se produce en el mundo y en algunos países ese porcentaje es incluso mayor. Uno de los ejemplos podría ser España, que asciende al 40%. Si queremos pasar a un mundo más sostenible es obvio que tenemos que tomar medidas en el sector del trasporte y el coche eléctrico es uno de los caminos para ello.

Desde la Unión Europea existen importantes objetivos medioambientales, reforzados desde el Acuerdo de París en 2015. En España se concretan en la Ley de Cambio Climático y Transición Energética. En todos estos marcos legislativos, existe una apuesta firme por la transición hacía el coche eléctrico como medio para reducir las emisiones contaminantes. En 2030, España debería contar con una flota de vehículos eléctricos de entre cinco y siete millones de unidades. En 2050, el objetivo final sería conseguir una economía totalmente descarbonizada (que no genere emisiones) y que los coches que circulen por nuestras carreteras no sean contaminantes, sean vehículos eléctricos o de cualquier tecnología alternativa que acabe imponiéndose.

En la etapa incipiente que nos encontramos, existen muchas noticias alrededor del coche eléctrico. Hablar de lo que pasará en el futuro siempre es difícil, pero muchas veces se confunden algunos aspectos que llegan a distorsionar la realidad. Pese a ello, es innegable que las instituciones europeas y nacionales apuestan firmemente por él, luchando por romper las barreras existentes del tradicionalismo.

Una de las pruebas de ello podría ser la ciudad de Madrid y su proyecto de Madrid Central, donde se ha limitado la circulación de vehículos contaminantes por el centro de la ciudad. La medida favorece claramente la implantación de vehículos eléctricos y nuevos conceptos de movilidad asociados como el llamado *car sharing*. En los últimos treinta años, Madrid ha duplicado su población, cuanta más gente vive en el núcleo urbano, más contaminación hay, debiéndose implantar soluciones para proteger la salud de los ciudadanos.

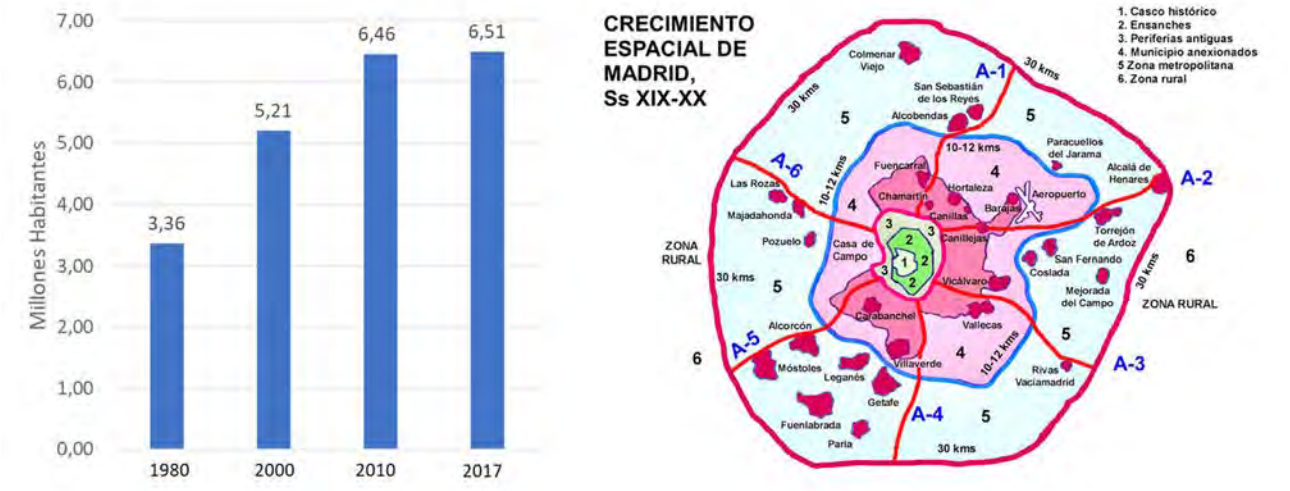



**Figura 2.** *Evolución de la población en Madrid y su crecimiento espacial en los últimos 2 siglos.*

Tampoco es un caso único a nivel mundial, sino que también existen otras ciudades a nivel europeo con políticas similares como podría ser Ámsterdam, cuya zona de bajas emisiones es cuatro veces mayor que la de Madrid, Berlín (19 veces mayor) o Londres (1580 veces mayor).

En esta tendencia, parece claro que los coches eléctricos ayudan a reducir las emisiones en nuestras ciudades dado que no emiten CO2 mientras circulan. Las ciudades son el lugar donde prevé que vivan el 68% de la población de 2050. Pero, ¿podemos decir que el coche eléctrico es 100% limpio?

Podemos afirmar que es limpio 100% cuando circula, pero no lo es cuando pensamos en la procedencia de la energía que utilizamos para cargar el coche eléctrico. Si la energía se obtiene desde centrales térmicas que emplean combustibles fósiles, en cierta manera también estamos contaminado.

Aun así, es cierto que ya es una ventaja importantísima el hecho de poder disminuir (si es posible eliminar) la contaminación de los centros urbanos de nuestras ciudades. A partir de ahí, poco a poco se deben ir sustituyendo esas centrales térmicas contaminantes por energías renovables. La energía procedente de estas energías limpias ha llegado a ser en algunas ocasiones el 40% de la energía total producida.

Necesitamos eliminar la contaminación de nuestras ciudades, es el lugar donde más gente vive y donde más personas pueden verse afectadas. En España hay más de 24.000 muertes prematuras debido a la mala calidad de nuestro aire, lo cual es 15 veces más que las muertes por accidentes de tráfico (según informe de la calidad del aire de la ciudad de Madrid de Ecologistas en Acción).

Otra ventaja que supone el uso del coche eléctrico viene a través de su motor. El motor del coche eléctrico es tres o cuatro veces más eficiente que el motor de un coche de combustión. Eso es

porque un coche eléctrico no necesita la gran cantidad de piezas que son necesarias en el coche de combustión y que gastan energía.

**Figura 3.** *Ventajas del motor eléctrico*

Ampliando lo antes dicho, la energía puede salir de muchas fuentes y éstas pueden ser renovables, energía solar, eólica, hidráulica, … cuanto más utilicemos esas fuentes, menos contaminante será el coche eléctrico. El mundo va claramente en esta línea.

Veamos la figura 4 donde observamos el flujo de la energía de hoy y del mañana:

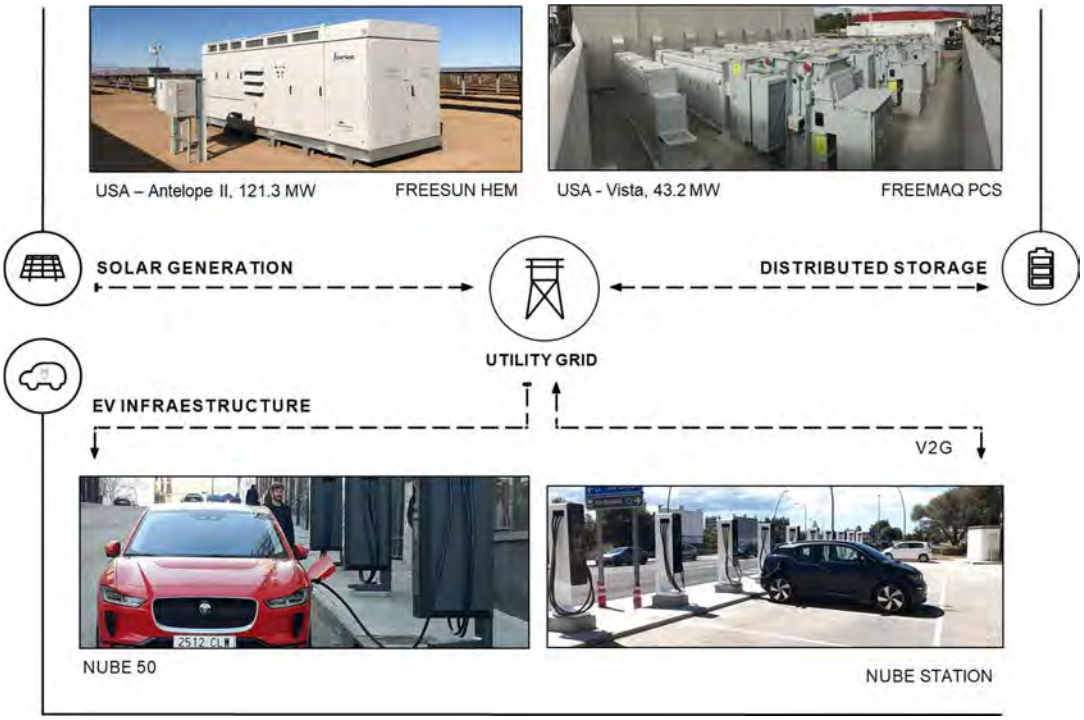



**Figura 4.** *Flujo energético de hoy y del mañana.*

En la esquina superior izquierda tenemos las instalaciones solares. Actualmente se están realizando instalaciones de gran tamaño tanto en España como en el resto del mundo. El incremento exponencial es una realidad, y ejemplo de ellos son parques solares de 500MW en Extremadura o 750MW en Aragón. El mundo de las energías renovables va cada vez a más y la generación energética cada vez es más limpia.

Como las energías renovables tienen el inconveniente de que son intermitentes, es muy necesario que existan baterías para almacenar energía, como vemos en la imagen superior derecha de la figura 4. Ya se pueden ver instalaciones reales que se realizan principalmente en Estados Unidos, pero también en Inglaterra o Australia… esto es una realidad. Los países anglosajones van más adelantados que nosotros con lo cual avanzan hacia una red más estable, una red cada vez con más instalaciones renovables. Sin baterías va a ser muy difícil el objetivo de la plena descarbonización.

En la parte de debajo de la figura 4 podemos ver como el coche eléctrico es receptor de la energía limpia comentada. El coche eléctrico está dentro de todo este flujo energético del día de mañana. Queremos que esa energía sea cada vez más limpia y por lo tanto cuanta más energía renovable haya, más energía limpia tendremos en nuestros coches.

A su vez, cuantos más coches eléctricos haya, más energía hará falta. Por ello, desde Red Eléctrica Española ya se ha dicho que el reto es grande pero no imposible, detallando que de cada millón de coches eléctricos nuevo habría que incrementar la generación eléctrica en un 1%.

El hecho de que tengamos una cantidad de coches eléctricos mayoritaria, pese a ser cierto que requerirá más energía, hará que se incorporen al sistema eléctrico todas esas baterías que disponen los coches eléctricos, lo cual puede ayudar a la red a su gestión, lo que se llama la tecnología V2G. Mediante ella, nuestros coches eléctricos se convertirán en fuente de almacenamiento a disposición de la red mientas cargamos.

La movilidad y el inevitable nuevo sistema de gestión eléctrica, es uno de los grandes retos que debemos afrontar como país. El coche eléctrico será una parte protagonista sin duda. Para ello, hay diferentes actores que tienen que dar diferentes pasos. En la figura 5 podemos ver quiénes son estos actores:

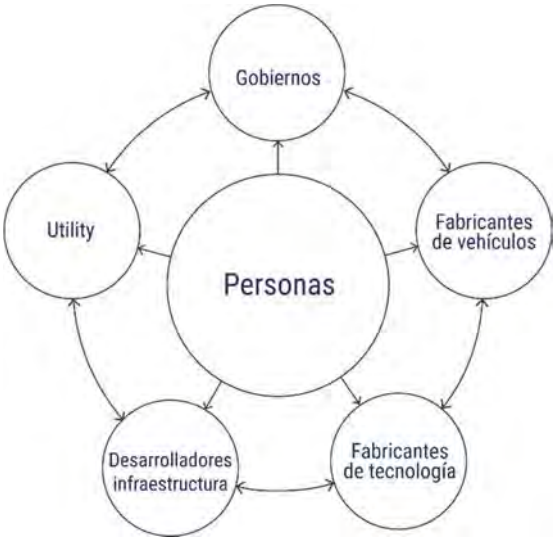



**Figura 5.** *Diferentes actores de influencia en el desarrollo del coche eléctrico.*

Por un lado, debe existir un compromiso claro por parte de los gobiernos, lo cual podemos decir que existe. Su papel principalmente es el de incentivar la producción de vehículos eléctricos, incentivar a los consumidores y promocionar infraestructuras de carga.

Por parte de los fabricantes de vehículos, es su momento para estabilizar la tecnología, aumentar la oferta de modelos e incrementar sus prestaciones, reducir costes de producción gracias al aumento del volumen de ventas y ajustar precios finales. Cuando este hecho se produzca, no existirá debate entre el coche eléctrico y el de combustión, y la primera será la opción prioritaria.

Respecto a los fabricantes de tecnología, como son los de cargadores eléctricos, tienen un papel vital mediante la industrialización y lanzamiento de los nuevos productos que demanda el mercado. Todo va muy rápido, por lo que la velocidad de ejecución será muy importante.

Los desarrolladores de estructura tienen el reto de encontrar viabilidad en los modelos de negocio, en un momento en el que no existen gran cantidad de coches eléctricos. Sin embargo, es una necesidad del hoy que exista red de recarga adecuada para eliminar incertidumbre y no sea un freno.

Las compañías eléctricas tienen la difícil misión de encontrar las formas de generar la energía necesaria y suministrar a los usuarios unas tarifas competitivas para recargar sus vehículos. Fácil de describir en dos líneas y a la vez un reto real de dimensiones gigantescas.

Difícil decir qué actores son más importantes que otros, en realidad, todos los son y todos se necesitan entre ellos. Queda por describir el nexo de unión a todos ellos, el protagonista principal de esta historia: las personas.

Sin duda, nada de lo expuesto hasta ahora tendrá sentido sin las personas, sin los conductores que son los que realmente deben de creer y querer comprar coches eléctricos. Porque sin ellos no será posible. Como ya he recalcado anteriormente, es muy importante que entiendan en que se basa todo lo relacionado con el vehículo eléctrico, ventajas e inconvenientes, como funcionan, cuánto cuesta comprarlo, cuánto dinero cuesta cada recarga, cuanto tiempo, …

Si no es así, no se comprarán vehículos eléctricos y no habrá transición posible hacía un mundo menos contaminado. Obviamente no son el único paso que hay que dar, hay muchos otros también; podríamos hablar de los problemas derivados de la generación de plásticos o los continuos vertidos que llegan a nuestros ríos y playas.

Estamos a tiempo de afrontar el cambio, es momento de empezar a decidir en qué lado queremos estar cada uno de nosotros. Y entre muchas otras medidas y acciones cotidianas necesarias, el próximo coche que nos compremos, que sea eléctrico.

**Figura 6.** *¿En qué lado queremos estar?*

## ESTADO ACTUAL

Conocida la necesidad de avanzar en el número de coches eléctricos por su importancia en el objetivo en la descarbonización de la economía, el siguiente tema a tratar es conocer en qué momento nos encontramos.

En la figura 7 podemos ver un resumen de la evolución en la forma que hemos tenido de movernos. Basada esta sobre todo en trasporte a combustibles fósiles. Por suerte esto está cambiando y empezamos a ver que el coche eléctrico estará presente en nuestro futuro. Lo que quizá no vemos es que también formó parte de nuestro pasado. Y es que ya en el siglo XIX existían coches eléctricos, aunque no acabó siendo el transporte de referencia. No fue un modelo de negocio adecuado para esos tiempos y con la llegada de los coches de combustión hasta prácticamente nuestros días, no ha tenido el empuje ni la tecnología necesaria para implantarse.

**Figura 7.** *Evolución de los coches en el último siglo.*

¿Existen alternativas al coche eléctrico para el futuro de la automoción? Se barajan varias alternativas, siendo el coche con pila de hidrógeno uno de los que más se comenta. Este también tendría una importante serie de retos por delante. Por ejemplo, hay que definir de dónde sale la energía para poder obtener ese hidrogeno (por ejemplo, del agua del mar).

El coche eléctrico tiene una gran ventaja respecto al de hidrógeno, y es que todo el mundo tiene en su casa enchufes y es relativamente sencillo cargar un coche eléctrico. Sin embargo, la implantación del coche de hidrógeno significaría tener que crear una red de recarga mundial y esto ya no es tan sencillo. Podemos correr el riesgo de intentar implantar una tecnología que a mitad del camino se quede obsoleta, que se encuentre algo mejor, y debemos tender a conseguir objetivos realizables en el corto y medio plazo.

El plazo máximo para la descarbonización de nuestras economías es 2050. Más de 3 décadas por delante son muchas en un mundo tecnológico como el que vivimos. Quizá aparezcan nuevas formas de movernos incluso mejores que dejen atrás las que estamos comentando, bienvenidas ellas. Mientras esto ocurre, las soluciones que se impondrán serán las que tengan una viabilidad en los próximos años, y el coche eléctrico lo es.

Obviamente estamos al inicio de un largo camino, donde tenemos todavía muy pocos coches eléctricos en nuestras carreteras (en España encontramos cerca de las 40.000 unidades). Poco a poco se van añadiendo nuevos modelos de coches eléctricos al mercado, y estos cumplen mejor con las prestaciones que los usuarios desean.

**Figura 8.** *Nissan Leaf de última generación*

Pese a ello y como es lógico, existen sus pros y contras, muy marcados en general con la opinión preconcebida que tengamos y la motivación que tengamos por cambiar nuestros hábitos. Veamos por ejemplo el caso del precio, que efectivamente es más elevado a día de hoy que los coches a combustión, con mucho más volumen de venta.

En contrapartida tenemos el coste de la energía, que es mucho más barato que la gasolina. La energía nos puede llegar a costar cinco veces más barata, esto hace que sea una operación interesante desde el punto de vista económico (no solo medioambiental), siendo una operación posible que se puede rentabilizar con el paso de los años.

Existen otra serie de ventajas, como es el mantenimiento, como tiene menos piezas nos gastaremos menos dinero en sus reparaciones. Estamos en un periodo en el cual vamos a disfrutar de subvenciones como el plan Moves, donde podemos obtener hasta 5.500 euros ante la compra del coche eléctrico. Esto haría mucho más interesante la operación, además podemos disponer de ventajas fiscales en algunos lugares, ventajas en aparcamientos, en entrada en las ciudades como en el caso de Madrid. Toda una serie de ventajas que en países como Noruega se ha demostrado que son útiles y gracias a ello los conductores compran coches eléctricos como opción preferente.

Dentro de las desventajas podemos destacar el tema de la autonomía. Está claro que los coches eléctricos a día de hoy no pueden hacer tantos kilómetros como los coches de combustión. También es cierto que poco a poco se van ampliando esos kilómetros. Importante entender que el paso hacía la movilidad eléctrica supone un cambio de mentalidad, para concienciarnos en ser eficaces en nuestras necesidades. Pensemos que, si hacemos 80 kilómetros al día y tengo un punto de recarga habitual, no voy a necesitar 800 kilómetros de autonomía.

Respecto a los tiempos de recarga también hay que avanzar. Seguro que mejorarán, aunque debemos ser lo suficientemente disciplinados para tener un punto de recarga que usaremos por las noches mientras estamos en casa o en el trabajo durante nuestra jornada laboral (cargar siempre donde el coche está el mayor número de horas).

Como último inconveniente, destacaríamos el uso de materias primas, sobre todo las relacionadas con las baterías. Si queremos seguir moviéndonos hay que seguir sacando minerales de la tierra como tantas y tantas actividades que requieren de ello para tener una vida como la que tenemos en la actualidad.

El futuro está por escribir, pero existen razones para el optimismo. Ya podemos ver como nuestras ciudades se están trasformando poco a poco, nuevas formas de moverse fuera de los modos tradicionales: desde las bicicletas eléctricas hasta los patinetes. Hace año y medio no existía este modelo de movilidad y cada vez es más y más necesario el disponer de normativas locales que ayuden a conciliar las nuevas relaciones que de ello se derivan. Son necesarios más carriles bici e ir reorganizando nuestras ciudades hacia la nueva realidad en la cual vivimos.

**Figura 9.** *Los nuevos protagonistas de nuestras ciudades*

## EL COCHE ELÉCTRICO

Es momento de entrar más en los detalles sobre el funcionamiento del coche eléctrico.

**Figura 10.** *Coche eléctrico partido por la mitad para ver sus componentes.*

Como cualquier coche, partimos de un motor, en este caso eléctrico, y que cuando esté en funcionamiento hará girar las ruedas. Está alimentado desde su batería de tracción, que es el equivalente depósito de gasolina tradicional, donde se guarda la energía.

La batería va estar compuesta por diferentes módulos, no es una única batería, sino que está dividida en varios módulos para que tengan una refrigeración más adecuada. Y la batería como conjunto se conectará al motor a través del inversor. Su misión es la de convertir la energía continua que se almacena en la batería a energía necesaria para que el motor gire, que es alterna. Este inversor además, está controlado por el pedal de aceleración del coche y hará girar el motor a la velocidad adecuada para alcanzar los deseos del usuario.

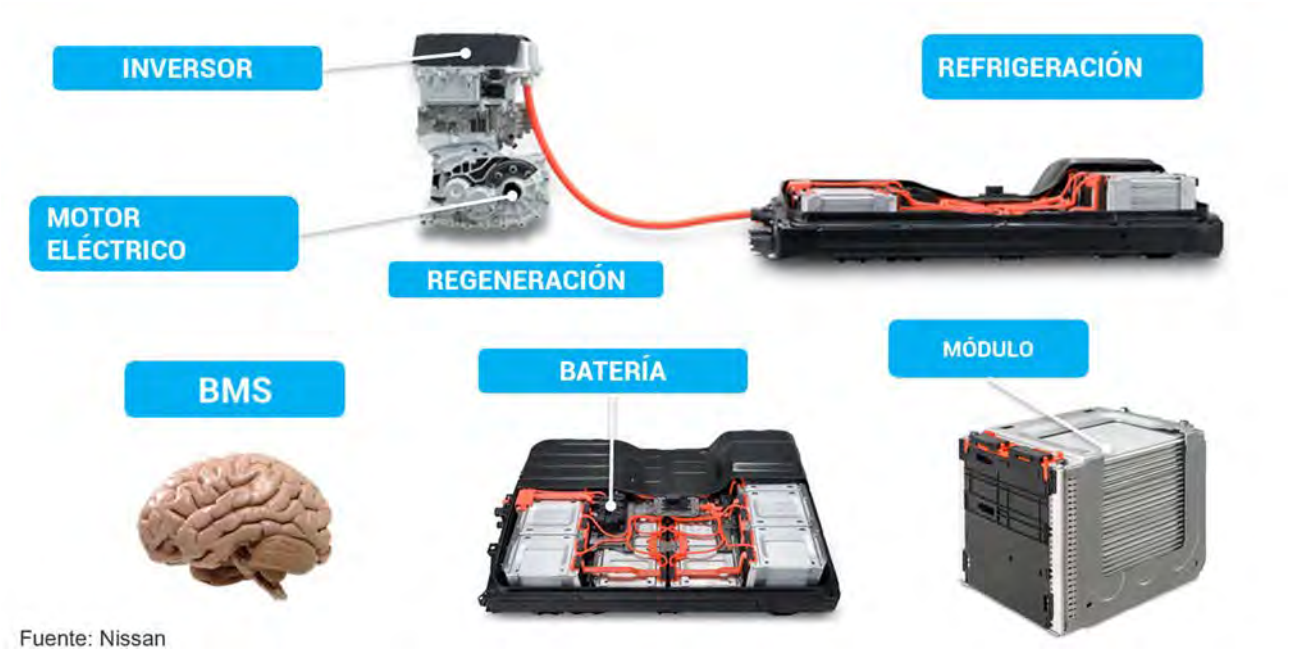



**Figura 11.** *Diferentes partes del coche eléctrico al detalle.*

Una función característica del coche eléctrico pues es lo que se conoce como freno regenerativo. Cuando soltamos el pie del acelerador, el coche no se queda libre si no que lo que estamos haciendo es frenar regenerativamente, lo que significa que la energía pasa del motor a través del inversor (camino inverso al explicado antes) y estaría cargando la batería. Es decir, que podemos aumentar la autonomía gracias a este hecho.

Como último punto a comentar sobre el coche eléctrico, faltaría hablar del BMS. Este es el cerebro de la batería, el que se encarga de controlar que todo funcione correctamente. La batería es el elemento más caro del coche eléctrico y su perfecto estado debe estar garantizado en todo momento. Para ello, el BMS se encarga de que el proceso de recarga se realiza adecuadamente. Se encuentra monitorizando la batería en todo momento y en el caso de que hubiese algún problema podría parar la recarga. En el caso en que existan temperaturas excesivas, puede que disminuya la velocidad de carga; todo siempre pensando en alargar la vida útil de esa batería.

## CONCEPTOS SOBRE LA RECARGA ELÉCTRICA

Como último capítulo a tratar, nos queda por ver algunos conceptos sobre la recarga eléctrica. Sobre todo, en esta parte es donde tenemos que realizar más cambios en nuestros hábitos, comparado a lo que hemos estado acostumbrados durante las últimas décadas. Las cargas eléctricas no se pueden ver igual que cuando vamos a una gasolinera, sino que nos tenemos que planificar muchísimo más. De hecho, la recarga eléctrica se parece más a la recarga de un teléfono móvil que a la recarga de combustible de los coches tradicionales de combustión. Lo cual requiere un gran cambio de mentalidad y tener claras las siguiente definiciones y conceptos.

La recarga puede ser habitual o esporádica. Será habitual si la realizamos desde casa o en el trabajo, en definitiva, en aquel lugar donde el coche pase más tiempo parado. Esto será lo normal, pero también puedo necesitar ir esporádicamente a las nuevas gasolineras eléctricas, llamadas electrolineras, aunque solo en caso de necesidad ya que sus recargas son más caras que las que puedo realizar en casa.

**Figura 12.** *Soluciones de cargadores eléctricos de Power Electronics*

La ciencia detrás de esas recargas en las electrolineras o en nuestras casas es muy diferente. Para las recargas habituales, las de nuestras casas, la complejidad es mucho menor, dado que las potencias de recarga también son menores. Hablamos normalmente de cargas hasta 7kW (aunque podría incrementarse hasta 22kW) y siempre en corriente alterna. En este caso, dentro del cargador no existe ninguna conversión de energía en forma de electrónica de potencia; y la potencia del punto al que se conecte al cargador en alterna, es la que se introducirá al coche. Al final, el tiempo de recarga es función de la potencia disponible en la instalación, el cargador y el coche, por lo que este caso se engloba dentro de las cargas lentas, con unos tiempos entre las 6 y las 10 horas.

En el caso contrario tenemos las electrolineras, las cuales sí que son más complejas e implican una conversión de energía complicada. La electrónica de potencia en el interior de una electrolinera transformará la energía alterna de la red a continua, para la recarga directa de las baterías de los coches. Un esquema de bloques sería el de la figura 13.

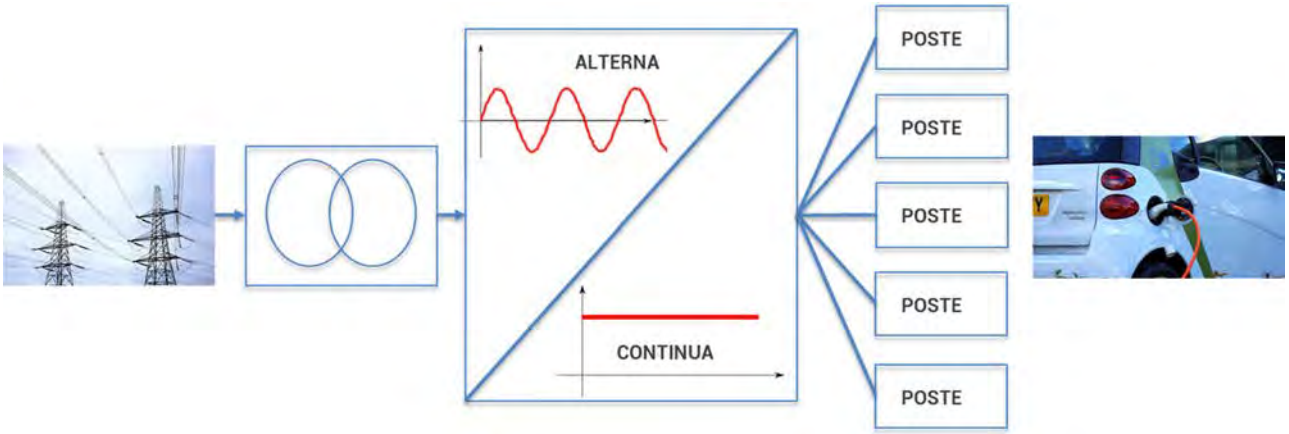



**Figura 13.** *Diagrama de bloques de una electrolinera.*

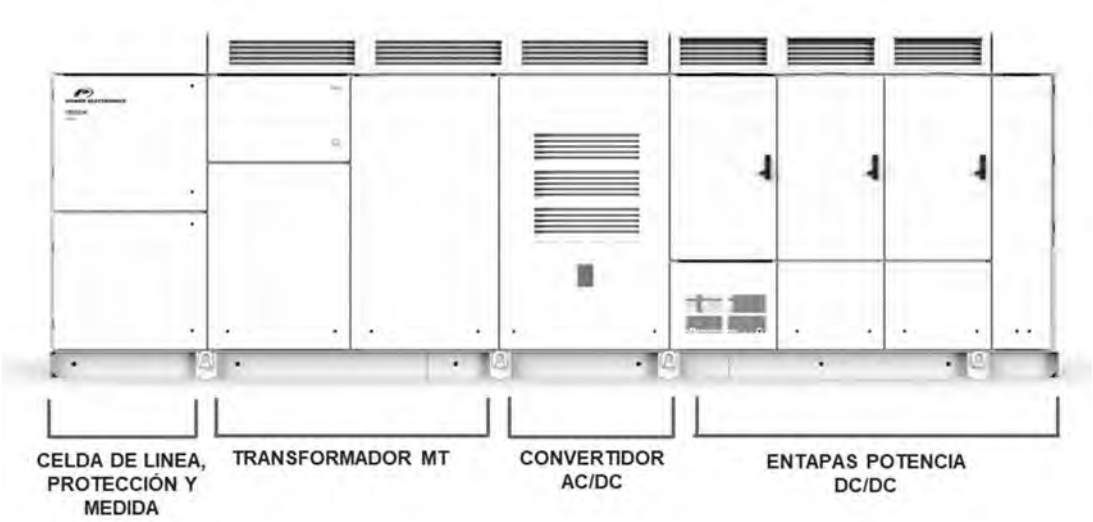



**Figura 14.** *Electrolinera Power Electronics*

Se puede decir que la recarga de este tipo de instalación es inteligente. Esto significa que debe existir a través del cable de conexión, una comunicación entre el coche, concretamente su batería, y la electrolinera. A mayor velocidad de carga, más potencia se necesita, y es necesario que esta comunicación coche-cargador sea más inteligente. En el caso de los coches, la potencia de referencia de cada poste sería de 50kW, lo que equivaldría a 30 minutos aproximadamente (siempre dependiendo del coche).

En el caso de la electrolinera, con varios puntos de recarga, por ejemplo 10, el conjunto supondría una potencia total de 500kW. Esto implica su conexión directamente a una red de alta tensión (del orden de kilovoltios) y la necesidad de un transformador para disminuir de la tensión y convertirla en gestionable por la electrónica de potencia y los coches (normalmente hasta 500V).

Tenemos por tanto diversas posibilidades para recargar, en general las rápidas y las lentas. Aunque una buena idea para el cambio de mentalidad necesario sería dejar de ver exclusivamente una carga rápida como algo bueno y una carga lenta como algo malo. El tiempo de carga lo tenemos que ver como adecuado o no adecuado a nuestras necesidades. Una carga de 7 horas puede ser perfectamente buena cuando está aparcado por las noches.

**Figura 15.** Estación de recarga de Power Electronics

## CONCLUSIÓN

A lo largo de los diferentes capítulos hemos tratado de ver los aspectos fundamentales que están alrededor del coche eléctrico. Su papel en los objetivos europeos de descarbonización está fuera de toda duda y el tiempo dirá si es una tecnología definitiva o solo un paso más hacia las grandes metas de mitad de siglo donde debemos ser neutros en emisiones dentro de la zona comunitaria. De no conseguirlo, las consecuencias para el planeta y todos sus habitantes serán muy negativas.

El coche eléctrico formará parte de un nuevo modelo energético, marcado por las energías renovables y el almacenamiento. Existe por tanto un gran trabajo por realizar entre todos, pero disponemos de los conocimientos y la tecnología para realizarlo.

Cada uno de los actores que participan en este proceso tiene su papel, todos importantes. Pero por encima de todos y en el centro del protagonismo, las personas y los conductores. Para que los objetivos comunitarios tengan éxito, ellos deben entender lo que está ocurriendo y acometer un proceso de familiarización con los conceptos relacionados con el coche eléctrico. Estos no son difíciles, pero no pasaremos de miles de coches a millones si la población como conjunto no entiende cómo funciona esta sencilla instalación eléctrica con ruedas.

Aquí destaca el papel de la ingeniería y los que procesamos su religión. Los fabricantes desarrollarán maquinas perfectas que realizarán su trabajo perfectamente, de ello no hay duda. Pero debemos ser los ingenieros como conjunto los que seamos capaces de traducir todo esto que estoy hablando a los conductores. Estoy seguro que cumpliremos con éxito nuestra misión.

## 2. AGRADECIMIENTOS

A Javier Cervera por la confianza depositada. A David de Diego por su trabajo y divulgación en los medios. A mi padre Vicente Tomás por ayudarme en la presentación de este trabajo. A Faustino Catalá por ser el primero en hablarme de que era una placa solar. A mis compañeros Juan Antonio Torres y Carlos Giner por su inspiración y ayuda. A Power Electronics por ser ejemplo de innovación y permitirme trabajar desde mis estudios y conocimientos por un mundo mejor. Por supuesto a mi familia, especialmente Lara y Javi por robarles unas pocas horas de dedicación.

## 3. REFERENCIAS

FRESCO, P. (2018): “El futuro de la energía en 100 preguntas”. Nowtilus.

TOMÁS, J. (2019): “Todo lo que debes saber sobre el coche eléctrico”. Universidad de Valencia.

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

12:15 - 14:15

**SESIÓN 5 Track B. INDUSTRIA 4.0 y BIG DATA**
Modera: Antonio Miranda

"Sistema experto para evaluación digital e inteligente de la eficiencia energética industrial" **Andrés Lluna Arriaga.** Resp. Industria y Eficiencia Energética **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ENERGÍA**

"Las redes de iluminación: la nueva herramienta de gestión para la industria 4.0" **Gabriel Butler Monterde**. CEO Grupo Geniadabar SL. **GENIA GLOBAL ENERGY**

"Auditoría Preliminar o de nivel I según ASHRAE: una herramienta poderosa para ahorro de Energía" **José Samuel Monterroso. Gerente. ECONOVA**

"Proyecto Smart Campus en la Universidad Rey Juan Carlos: implantación de la metodología BIM y tecnologías IoT para la gestión eficiente de los activos inmobiliarios". Javier Orellana. Gestor Energético Unefe. **José Miguel Luna.** Resp Desarrollo Producto. **UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS (URJC).**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# ENERGÍA INDUSTRIAL 4.0

## Sistema experto para evaluación digital e inteligente de la eficiencia energética industrial

**Andrés Lluna Arriaga**

ITE INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ENERGÍA

aee The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice


1 INTRODUCCIÓN A “ENERGÍA INDUSTRIAL 4.0”

2 MECANISMOS DE CÁLCULO: SISTEMA EXPERTO

3 RESULTADOS: DIAGNÓSTICO DE LA EFICIENCIA DIGITAL

4 CONCLUSIONES

**Instituto Tecnológico de la Energía**

Centro Tecnológico, privado sin ánimo de lucro, de ámbito internacional orienta sus proyectos y servicios a empresas y organismos públicos pertenecientes al **sector energético en sus diferentes ámbitos**

1) Fomento **I+D**

2) Incremento de la **calidad de producción**

3) Contribución al **progreso de la tecnología y la competitividad** de las empresas.

+

+

**Mejora Energética Integral**

EE, Renovables, Reutilización, Medioambiente, Necesidades del usuario

**Redes Inteligentes de Energía**

**Tecnologías**

Automatización, Computación y Control Inteligente Energético

**Energía e Industria ITE bajo el concepto I4.0. Fuente ITE**

Menor **consumo** y mayor **rentabilidad**

Mejor **aprovisionamiento** Energía

Mayor **integración digital** y en la **red inteligente**

Mejores Tecnologías Disponibles (**MTD**)

# Introducción a “Energía Industrial 4.0”, proyecto

**EnergíaIndustrial4.0 – EI4.0 Integración de tecnologías avanzadas para mejorar la Eficiencia energética y de procesos en empresas con procesos Industriales homogéneos**

**Descripción:**

El proyecto se centra en el objetivo de unir:

- Las últimas tendencias de eficiencia de procesos y mejora energética en la Industria.
- Con las metodologías digitales clave facilitadoras de la Industria 4.0.

Para ello, se propone el desarrollo de una metodología de análisis y posterior herramienta de simulación interactiva que analice de manera personalizada y automática a cada empresa manufacturera:

1) En qué estado energético y productivo se encuentra la factoría para poder cuantificar la implantación de las mejores tecnologías energéticas, productivas y digitales que les aplican.
2) Y, qué hoja de ruta puede seguir para su correcta asimilación y beneficios a obtener con ello.

Así, el beneficio de adoptar el arquetipo de Industria 4.0 con las mejores prácticas digitales energéticas y productivas, revierte en beneficio de ambos conceptos, y permitirá una asimilación de dichas estrategias con una mayor eficacia e integración a todos los niveles empresariales.

EI 4.0 EnergíaIndustrial

UNIÓN EUROPEA Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Una manera de hacer Europa

GENERALITAT VALENCIANA

IVACE INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO

ITE INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ENERGÍA

# Introducción a “Energía Industrial 4.0”

**Necesidades de mejora energética – productiva global**

1) Objetivo 20-20-20 (2020) → **Objetivo 40-27-27 (2030)** → Objetivo 2050

- 20% DE REDUCCIÓN **GASES EFECTO INVERNADERO** (por debajo de los niveles base de 1990) → 40% en 2030 .
- 20% DEL CONSUMO ENERGÉTICO FINAL DE **EERR** → 27% en 2030.
- 20% DE REDUCCIÓN DE **CONSUMO EN ENERGÍA PRIMARIA** COMPARADO CON LOS NIVELES TENDENCIALES (mediante medidas de ahorro y EE) → 27% en 2030.

2) Mejora **productividad**:

- Mejora retorno económico.
- Competitividad empresarial.

**Necesidad cambio de paradigma tecnológico en industria**

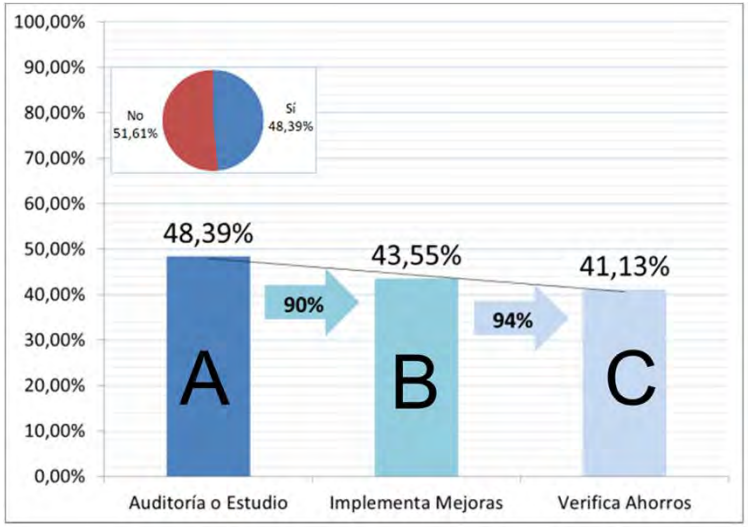
**1) Industria 4.0**: digital, virtual e interconectada

2) Uso y desarrollo de **Tecnologías KET** para implementación de industria

- Digitalización para la mejor toma de decisiones, competitividad y eficiencia.

**Dar a conocer a las empresas manufactureras sus posibilidades de mejora, conectarlas con los proveedores de tecnología.**

# “Energía Industrial 4.0”, detectar la solución digital según la necesidad




Casi el 50% ha **realizado alguna acción de análisis energético**

El 90% de estas empresas han **implementado** las tecnologías

Y casi la totalidad de las empresas que han implementado soluciones han **verificado** que se cumplen los ahorros previstos

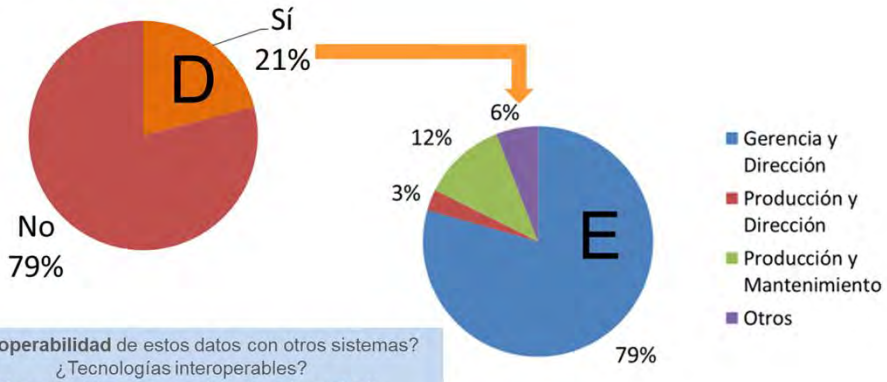
FEMEVAL Federación Empresarial Metalúrgica Valenciana

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO

Valencia Industria Conectada VLC 4.0

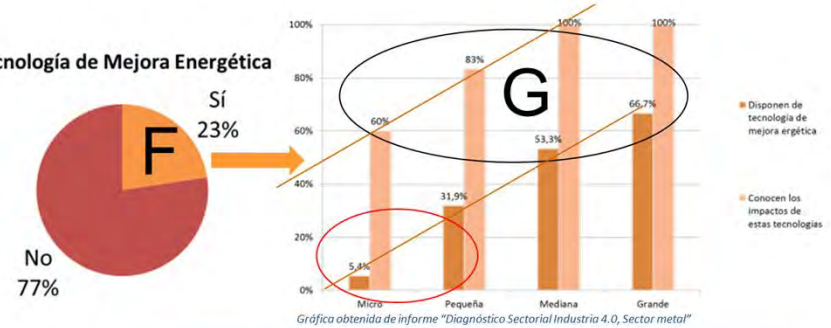
ITE INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ENERGÍA

**Sistema de Monitorización**




¿**Interoperabilidad** de estos datos con otros sistemas?
¿Tecnologías interoperables?
¿Organización, **uso** y gestión de estos datos?

**Tecnología de Mejora Energética**




*Gráfica obtenida de informe “Diagnóstico Sectorial Industria 4.0, Sector metal”*

Resultado **similar a implantación de sistemas de monitorización**
Los que aplican medidas sí conocen sus impactos
Mayoría pequeñas y medianas empresas desconocen y no aplican medidas y sistemas de EE

# “Energía Industrial 4.0”, detectar la solución digital según la necesidad

| Aplicación | Conclusiones |
|---|---|
| **Auditoría o Estudio Parcial EE** | **50%** → Todas implementan alguna solución y siguen su impacto |
| **Sistema de monitorización básico** | 20% → Seguido por **Dirección**, Producción, Otros<br>Mayoritariamente coste E seguimiento por facturación<br>Realización de previsión de consumo mediante método manual |
| **Tecnología Energética** | 20% → más aplicación en las grandes y medianas empresas<br>Todas son conocedoras de los impactos de medidas básicas<br>Análisis de implantación de renovables: poca viabilidad.<br>**A mayor recursos y tamaño más posicionados** soluciones de mejora, concienciación, políticas energéticas y departamentos específicos EE |
| **Nivel de percepción de los impactos positivos** | **Reducción de coste** y cumplimiento de políticas de calidad y energéticas |
| **Relación con otros sistemas tecnológicos y digitales** | Monitorización de la Energía en **similar penetración que Coste Real de Producción y Eficiencia Productiva**<br>Oportunidad de implantar el coste energético en ERPs (44%) y MES (1%) |
| **Barreras principales** | Coste y No necesario: **desconocimiento del impacto** |

**Coste o no lo consideran necesario**
¿conocen el impacto que tienen?
Potencial ahorro entre el 20% y el 25% - *ref. GNF*

**Barrera del desconocimiento**
Necesidad de justificar anticipadamente los impactos
Por ejemplo tecnología LED, medida puntual que ha penetrado mejor: ahorro económico directo, visible y explicado antes de su implantación

# Antecedentes y referencias a “Energía Industrial 4.0”

**MODELO DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL**

**5 Dimensiones**: claves en la estrategia y operaciones de la empresa

**14 Palancas**: áreas de trabajo y guía para identificar las principales líneas de desarrollo.

**ALCANZAR MADUREZ DIGITAL**

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE ECONOMÍA, INDUSTRIA Y COMPETITIVIDAD · INDUSTRIA CONECTADA 4.0

PROGRAMA ACTIVA INDUSTRIA 4.0

2 Asesoramiento y **consultoría**: ajuste HADA, definición de estado y **plan de transformación**

Servicio Activa Industria 4.0

hada HERRAMIENTA DE AUTODIAGNÓSTICO DIGITAL AVANZADA

1 **Autoevaluación** de la **madurez digital**

3 **Apoyo financiero** I+D+i En el ámbito de Industria Conectada

iVACE · CDTI · FoF Factories of the Future · SPIRE

# “Energía Industrial 4.0”, Componentes

**Figura.** *Componentes de sistema Energía Industrial 4.0. Fuente ITE.*

# “Energía Industrial 4.0”, Áreas de actuación eficiencia digital

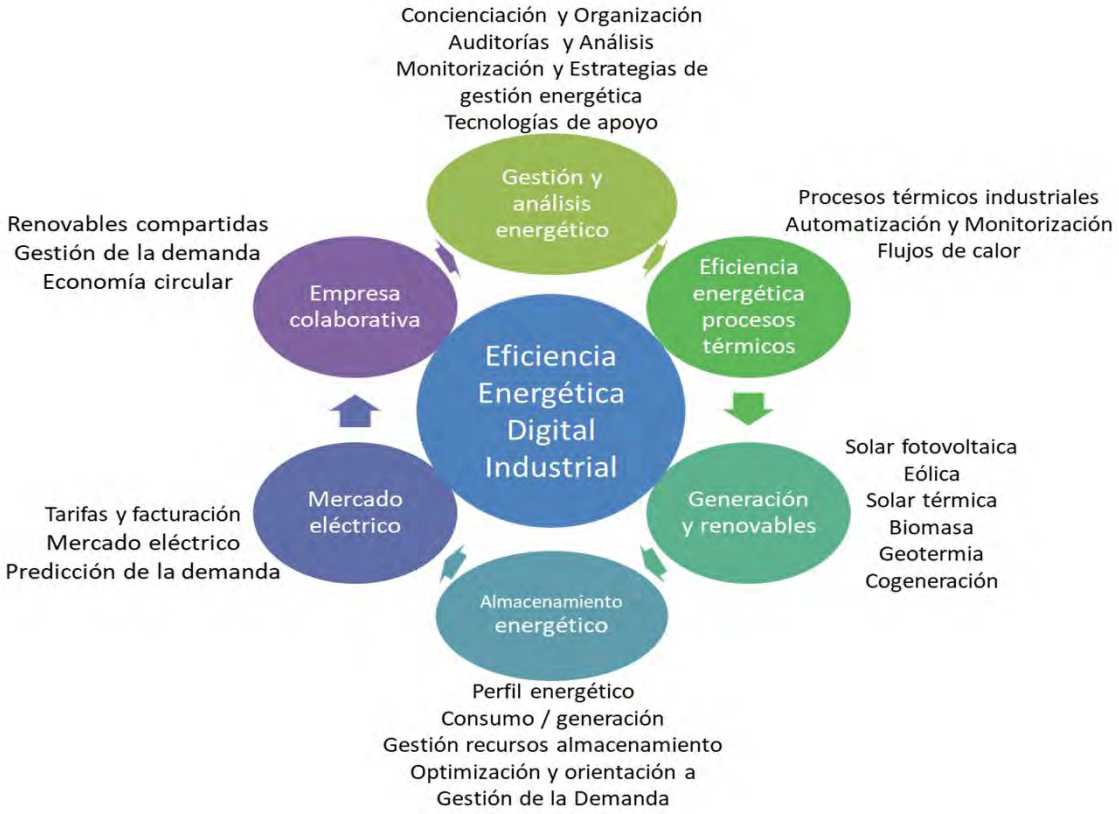



**Figura.** *Áreas de actuación de eficiencia digital de herramienta Energía Industrial 4.0. Fuente ITE*

# “Energía Industrial 4.0”, Áreas de actuación eficiencia proceso

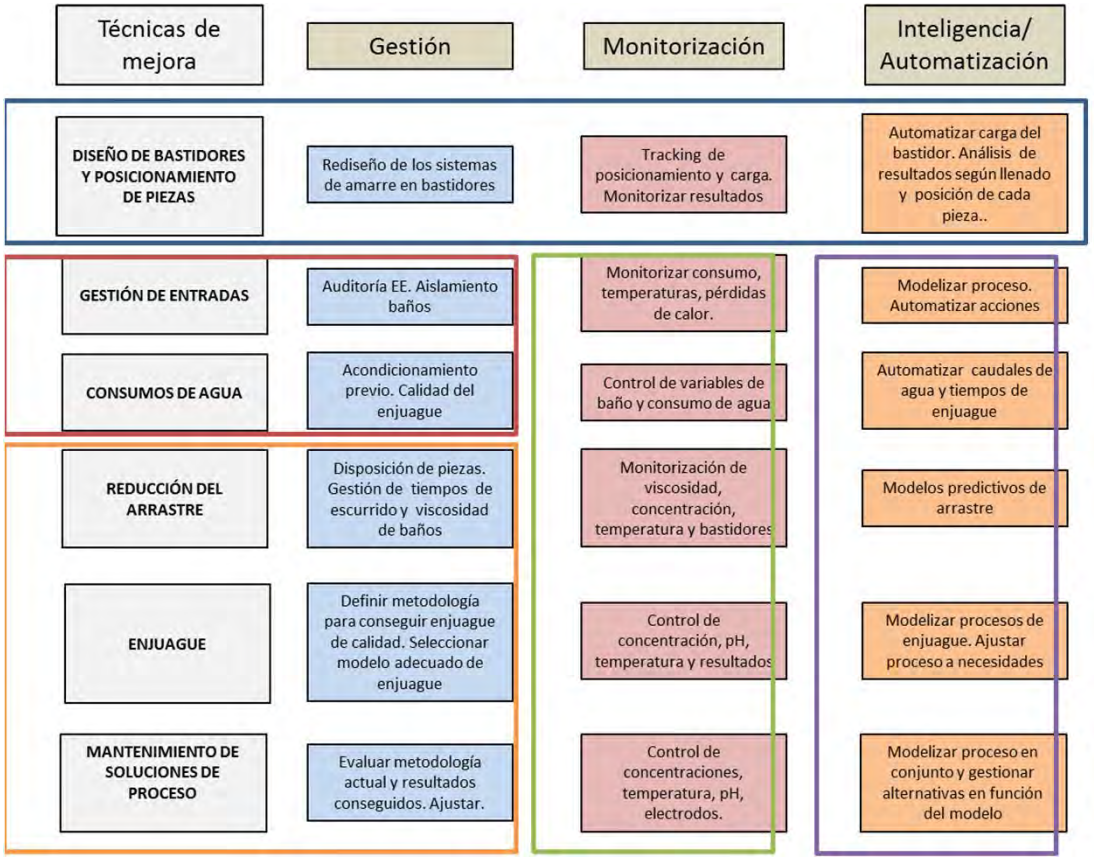



**Figura.** *Áreas de actuación eficiencia digital en procesos de tratamiento de superficie. Fuente AIDIMME*

# “Energía Industrial 4.0”, mecanismos de inferencia

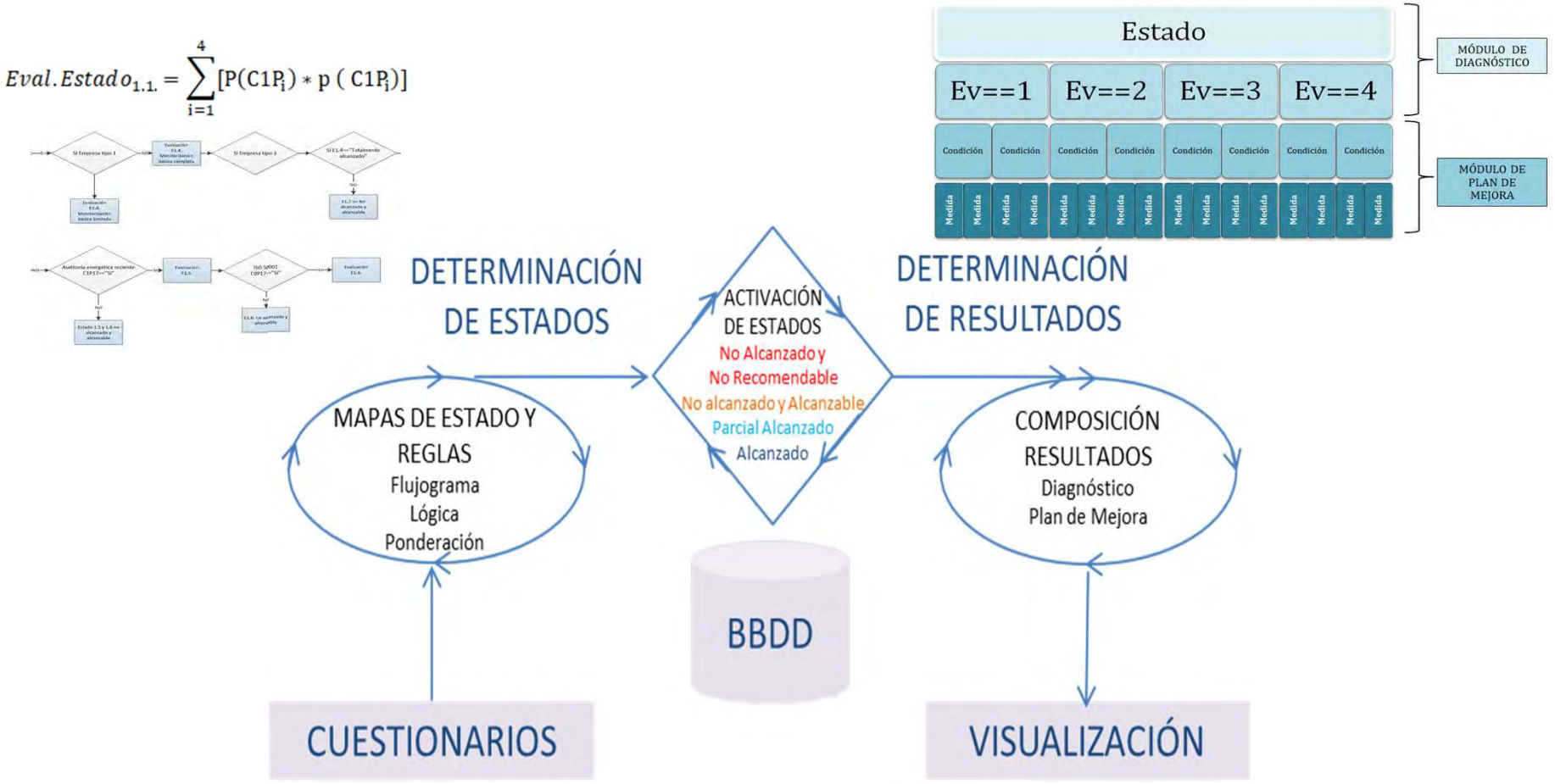
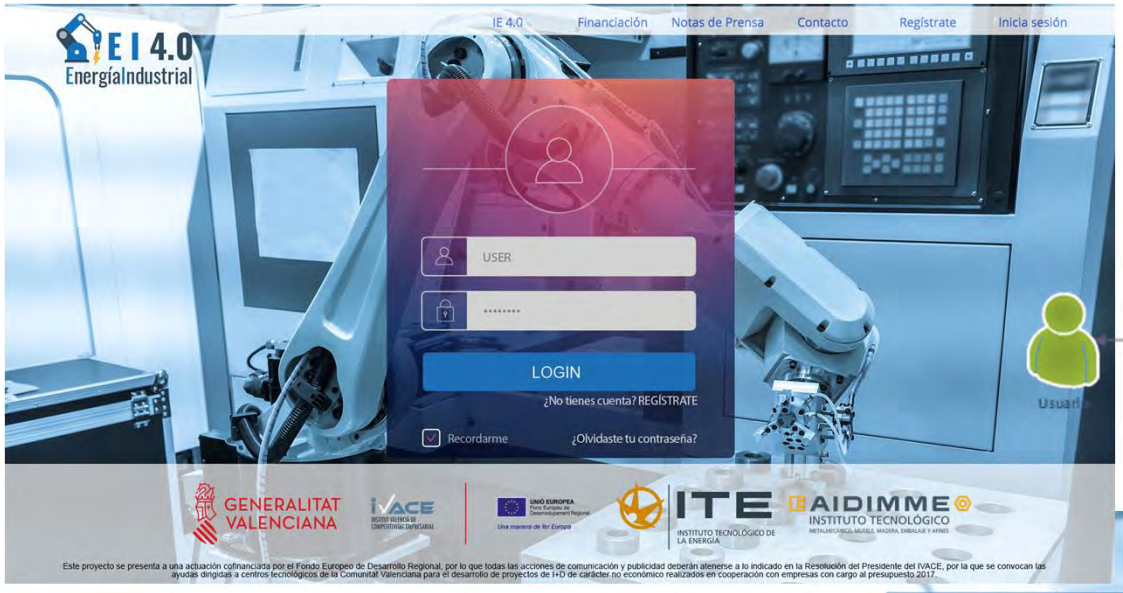
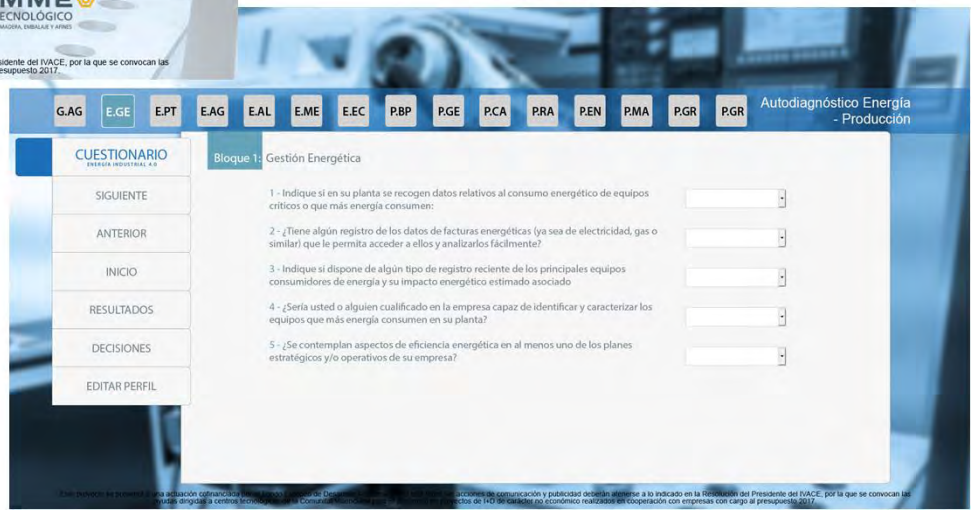



**Figura.** *Mecanismos de inferencia de Energía Industrial 4.0. Fuente ITE*

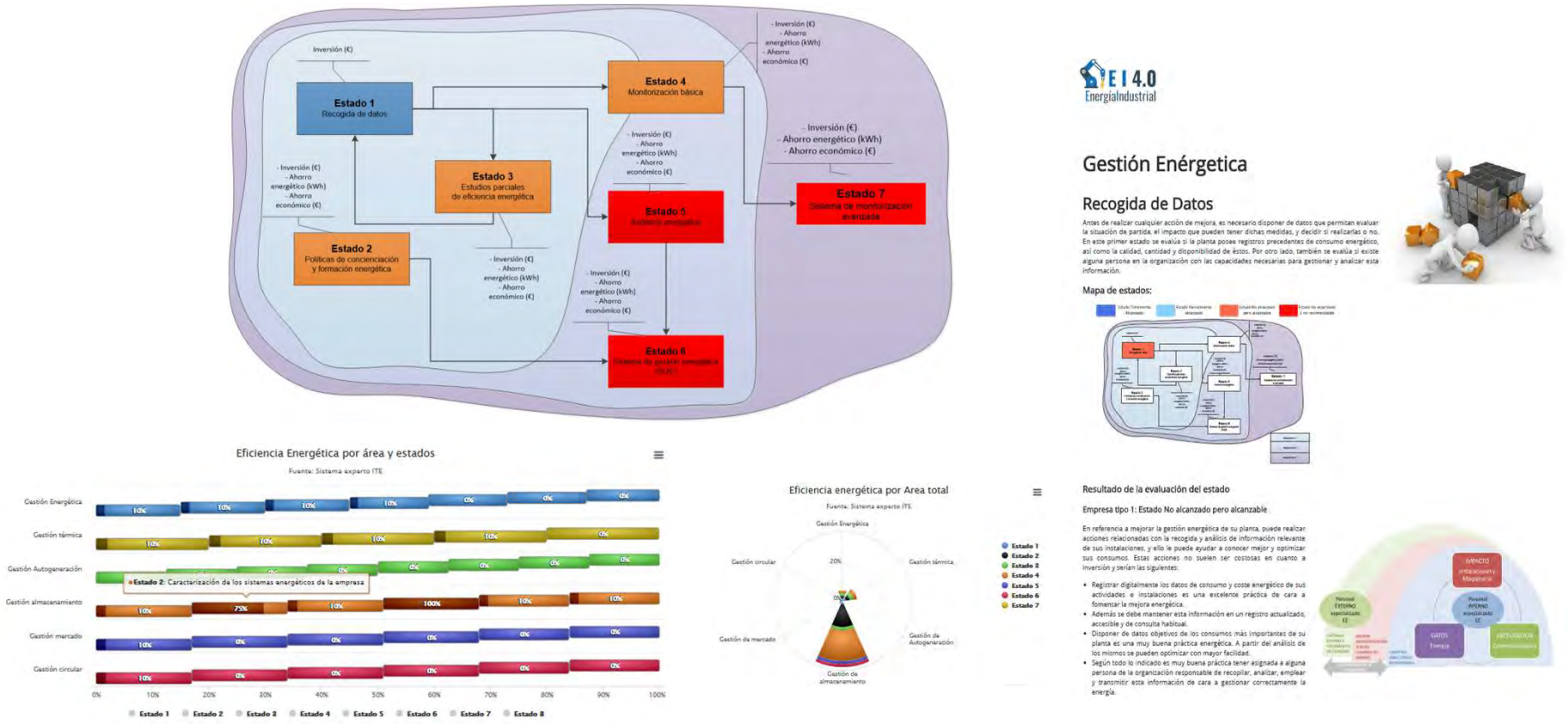
# “Energía Industrial 4.0”, aplicación






**Figuras.** *Pantallas de entradas de datos y relación con sistema de inferencia. Fuente ITE.*

# “Energía Industrial 4.0” Resultados personalizados a las empresas




**Figuras.** *Mapas de estado de área de Gestión y Análisis Energético, indicadores de estado, resultados descriptivos de mejora. Fuente ITE*

# “Energía Industrial 4.0” Hacia un nuevo modelo industrial de gestión energética.

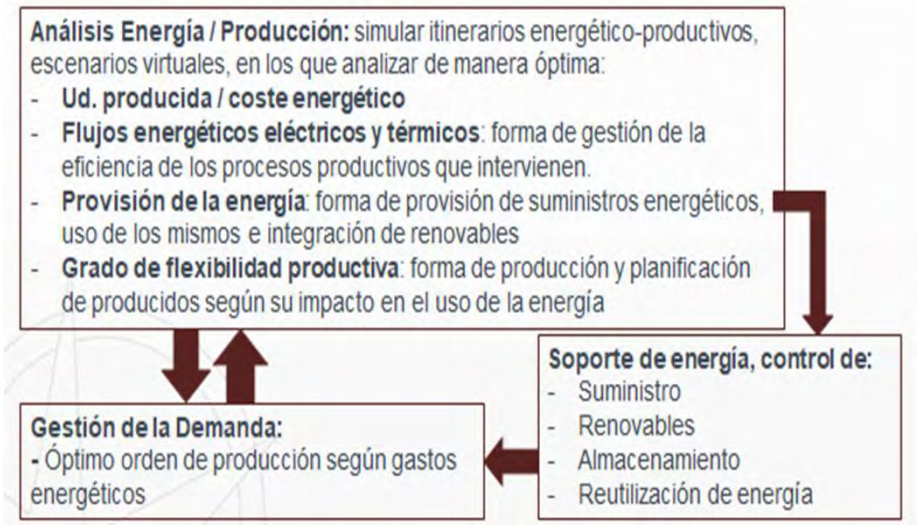



**Figura.** *Bases de nuevo modelo industrial de gestión energética. Fuente ITE.*

**Base de conocimiento** avanzada de técnicas digitales orientadas a la mejora de la eficiencia energética y productiva

**Integración en una herramienta digital** capaz de evaluar de manera inteligente y autónoma **1) el estado** de las empresas manufactureras**, 2) medidas** a las que pueden optar en su estado actual y futuro

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

# Sistema experto para evaluación digital e inteligente de la eficiencia energética industrial

**A. Lluna[1], A. Rubio[1], J. Romero[1], P. Domingo[1], J.L. Sánchez[3], y V.Fuster[1,2]**

1 Instituto Tecnológico de la Energía (ITE), Avda. Juan de la Cierva, 24, Paterna, Valencia. 46980. observatorio@ite.es
2 ITE, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, Valencia. 46002.
3 Instituto Tecnológico Metalmecánico, Mueble, Madera, Embalaje y Afines (AIDIMME), C/Benjamín Franklin, 13. Paterna. Valencia, 46980

**Resumen:** La mayoría de las empresas industriales manufactureras, sobre todo las pequeñas y medianas, siguen modelos tradicionales de análisis, como la aplicación de auditorías, en referencia al uso y gestión de su energía y su eficiencia, e implementan iniciativas parciales de mejora generalmente con escasa o nula componente digital. Ello se debe a que perciben como barreras de las nuevas tecnologías su coste e impacto económico y energético, teniendo éstas aún una penetración baja dentro del escenario de la Industria 4.0, en su "transformación digital", pese a que se determinan como fundamentales como elemento determinante de competitividad. Por tanto, es importante disponer de una herramienta, como la obtenida en el proyecto "Energía Industrial 4.0" financiado por IVACE, Instituto Valenciano de la Competitividad Empresarial, que suponga un apoyo en la toma de decisiones razonada y anticipada en cuanto a invertir en digitalización de eficiencia energética y productiva. Así, se busca potenciar la asimilación de las tecnologías clave, y en paralelo, incrementar su nivel de digitalización para alcanzar una mayor madurez digital.

**Palabras clave:** digitalización energética, fabricación eficiente, Industria 4.0, sistema experto.

## 1. PROYECTO ENERGÍA INDUSTRIAL 4.0

El proyecto "*Energía Industrial 4.0*", cuya descripción completa es "*Integración de tecnologías avanzadas para mejorar la Eficiencia energética y de procesos en empresas con procesos Industriales homogéneos"* tiene como objetivo principal la **construcción de una base de conocimiento avanzada de técnicas digitales orientadas a la mejora de la eficiencia energética y productiva y su integración en una herramienta digital que sea capaz de evaluar de manera inteligente y autónoma tanto el estado de las empresas manufactureras como las medidas a las que pueden optar en su estado actual y futuro**. El proyecto se lleva a cabo en colaboración del Instituto Tecnológico de la Energía (ITE) con el Instituto Tecnológico Metalmecánico, Mueble, Madera, Embalaje y Afines (AIDIMME), enfocándose, en primera instancia, en el sector metalmecánico y subsector del galvanizado, sobre todo en lo que a medidas de mejora de la productividad se refiere. Por otro lado, desde el punto de vista de mejora energética el enfoque pretende ser más amplio, con el fin de llegar a un mayor número de empresas manufactureras para las que pudiera ser de interés la aplicación de estas medidas. El estado de finalización del proyecto, en su última fase de testeo, ha permitido desarrollar un prototipo de sistema experto que, en su vertiente energética, tiene una orientación de herramienta de amplio espectro de aplicación, evaluando y diagnosticando de manera autónoma e inteligente a cada empresa: 1) en qué estado se encuentra, analizando las tecnologías disponibles más adecuadas para ser implantadas con el módulo de determinación de situación, y 2) qué hoja de ruta debe seguir para la correcta asimilación de éstas cuantificando su impacto y beneficios, con el módulo de composición de plan de resultados.

El proyecto encuentra su justificación directa en un sondeo realizado a empresas industriales manufactureras, de servicios de ingeniería y de TICs en el que se abordaba la gestión de la energía y la eficiencia energética en éstas según medios tradicionales [CARRERO, A. y GARCÍA, J. (2015)] y apoyando éstos en nuevas tecnologías. Los resultados del sondeo son claros; algo menos del 50 % de las empresas ha realizado alguna auditoría energética total o parcial en los últimos 5 años, y de las que la realizaron, prácticamente todas llegaban a aplicar al menos una de las medidas que se proponían como resultado de aquella. Sin embargo, sorprende la ausencia de la componente digital

en las actuaciones propuestas. En contraposición, la propuesta de la iniciativa estatal *Industria Conectada 4.0* es clara; la industria debe abordar las nuevas oportunidades y retos nacidos de los nuevos desarrollos tecnológicos, la hiperconectividad y la digitalización, para evolucionar y posicionarse en ventaja competitiva internacional clara. Volviendo a la encuesta, también destaca la ausencia de sistemas digitales energéticos, puesto que menos de un 20% disponen o tienen interés en sistemas básicos de monitorización energética. Las empresas recurren, en su lugar, al seguimiento del coste energético mediante la introducción puntual o, en el mejor de los casos, periódica, de datos de facturas, en lo que a datos puramente económicos se refiere. En algunas empresas se destaca la inspección visual para toma de datos de consumo eléctrico, quedando, aún así, lejos de un sistema automático digital de recogida y tratamiento de datos. La barrera no queda en la falta de interés en conocer el impacto energético de estas tecnologías, sino que en muchos casos no se llega a conocer su beneficio directo o indirecto, desembocando en un bajo o muy bajo grado de penetración. Con ello y con todo, las empresas no renuncian a la transformación digital como factor competitivo diferenciador; recientes estudios afirma que se valora en invertir en digitalización en toda su cadena de soluciones, resultando crítica en su adaptación la constante evolución de la técnica actual que provoca que, en ocasiones, no se llegue a la consecuente adaptación continuada necesaria, sobre todo en aquellas empresas de tamaño pequeño o mediano. . En este punto, herramientas como la desarrollada en el proyecto cobran una importancia capital en el apoyo a la toma de decisiones racionada y anticipada relativa a los esfuerzos de inversión en digitalización energético-productiva y la construcción del plan de acción. La madurez digital, dependiente de cada empresa y contexto, es una meta a la que ninguna empresa debe renunciar, siendo de gran importancia un asesoramiento personalizado y óptimo en distintas áreas con una conveniente cuantificación de impacto asociada.

Para resolver a toda la problemática anteriormente expuesta, la herramienta desarrollada evalúa de manera personalizada a cada empresa manufacturera según una serie de datos característicos, los mínimos que se consideran necesarios para realizar un diagnóstico sólido en referencia a soluciones de eficiencia energética y de proceso. A partir del diagnóstico resultante de dicha evaluación, la herramienta conoce tanto el nivel actual en cuanto a medidas de eficiencia energética y productiva, gracias al análisis de las tecnologías disponibles más adecuadas para ser implantadas, como la hoja de ruta que debería seguir dicha empresa para la correcta asimilación de éstas. En este plan de acción se refleja de manera automática e inteligente impacto y beneficios que la herramienta infiere que la empresa obtendría con la aplicación de las medidas. En los siguientes apartados se profundiza en los distintos módulos de los que se compone la herramienta, desde el que lleva a cabo el análisis y diagnóstico de situación hasta el que selecciona, compone y presenta los resultados en un formato adaptado a cada empresa.

## 2. EFICIENCIA ENERGÉTICA DIGITAL INDUSTRIAL, BASE DE CONOCIMIENTO.

La base de reglas y de conocimiento desarrollada, sobre eficiencia energética digital se ha estructurado en seis diferentes áreas clave de actuación (*ver Figura 1*) que siguen las siguientes temáticas: gestión y análisis energético transversal de la empresa, estudio de mejora de la eficiencia energética de procesos térmicos, viabilidad de integración de energías renovables y su impacto, así como instalaciones de sistemas de almacenamiento, acceso a mercado eléctrico con el fin de mejorar costes económicos y por último análisis de estrategias de economía colaborativa centrándose en buscar sinergias energéticas entre empresas que se presten a formar un sistema colaborativo industrial. Y en común a todo ello se aplica un trasfondo de cómo la tecnología digital potencia estos campos y permite avanzar en su eficacia.

**Figura 1.** *Áreas de actuación de eficiencia digital de herramienta Energía Industrial 4.0. Fuente ITE*

La lógica de la aplicación abarca varios mecanismos de inferencia encadenados que se dividen en dos grandes grupos, cada uno con el siguiente objetivo: 1) mecanismo de "Determinación de Estados", que pretende la localización automática de estado de la empresa en cada una de las áreas mencionadas y en las etapas que contiene y, a partir de esta base, el sistema dispone de un 2) mecanismo de "Determinación de Resultados" que elabora el plan de actuación para cada caso componiendo autónomamente las prescripciones de mejora en el campo de la eficiencia energética digital. A continuación se muestra la arquitectura de mecanismos de inferencia del sistema:

**Figura 2.** *Mecanismos de inferencia de Energía Industrial 4.0. Fuente ITE*

En referencia a ello, y siguiendo la anterior arquitectura, para llegar a diagnosticar la situación de la empresa el sistema debe determinar en cada caso cuál es su Activación de Estados siguiendo el siguiente procedimiento:

La empresa, por medio de una serie de cuestionarios, introduce sus datos generales y particulares en relación a cada una de las áreas de eficiencia energética que el sistema evalúa. Seguidamente se determina el "tipo" de empresa según las soluciones a las que pueden optar por capacidad económica, consumo energético eléctrico y térmico, y por tamaño de la empresa: microempresa,

pequeña empresa, empresa mediana y gran empresa. Así combinando estos factores la empresa es clasificada en un tipo (I, II y III) y, en consecuencia, optará a soluciones de mayor o menor complejidad, e inversión.

Una vez introducida la información que pide los cuestionarios y catalogada la empresa, el programa ejecuta un conjunto de reglas en relación a mapas y diagramas de conocimiento con los que se define una estructura lógica y secuencia por la que evoluciona y evalúa cada empresa en cada área. Cada estado puede tener entradas tanto de estados precedentes como de respuestas concretas del usuario a algunas preguntas. Como salida a partir de estos estados se puede mostrar gráficamente un modelo simplificado al usuario para que visualmente sepa en qué estado se encuentra y que estado podría alcanzar, ver en la siguiente *Figura* un ejemplo de mapa, en concreto el del área de Gestión y Análisis Energético.

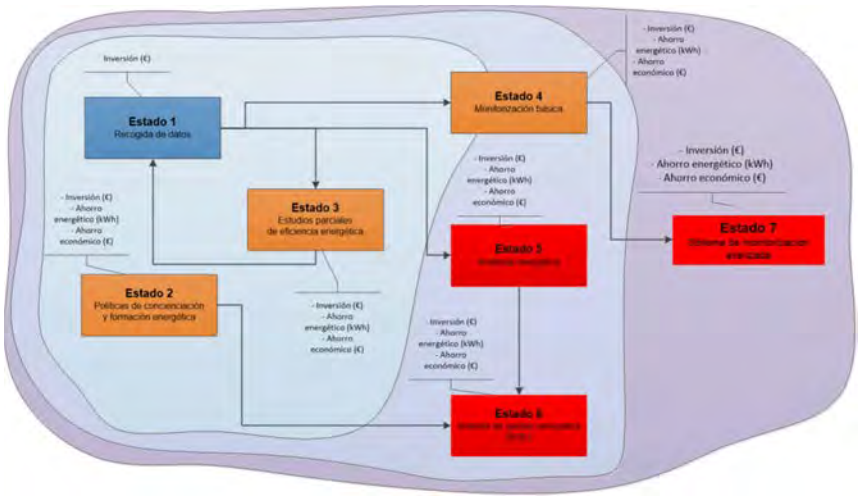



**Figura 3.** *Mapas de estado de área de Gestión y Análisis Energético. Fuente ITE*

El motor de cálculo de este mecanismo se ha desarrollado a dos niveles, el primero es definido en cada área por un flujograma que relaciona la base de conocimiento y lógica de análisis, obteniendo así un árbol de decisión a medida de cada caso planteado. Además, en un segundo nivel encapsula la activación, o no, ponderada de cada etapa. Así, estas etapas definen el estado en el que se encuentra la empresa según su madurez de asimilación de la temática que se está evaluando en cada caso, obteniéndose diferentes niveles de activación: Alcanzado, Parcialmente Alcanzado, No Alcanzado pero Alcanzable y No Alcanzado y No Recomendable.

Estas Activaciones de Estado son clave ya que servirán de base de partida para el siguiente módulo de "Determinación de Resultados", *explicado en el apartado 4*, que cubre la funcionalidad de proporcionar a la empresa un plan de acción personalizado según las respuestas introducidas y el resultado de su evaluación que le permita, orientativamente, valorar y seleccionar aquellas medidas que pueden resultarle de interés en un transformación energética y digital.

## 3. ANÁLISIS DIGITAL DE LA EFICIENCIA PRODUCTIVA.

El planteamiento que se realiza para evaluar la eficiencia productiva de una industria de galvanotecnia es similar al descrito anteriormente, aunque con algunas particularidades. En primer lugar se establece un filtro que considera las capacidades y posibilidades de la empresa para abordar mejoras complejas. Dado que se trata de mejorar la eficiencia de los procesos mediante el uso de tecnologías digitales, las empresas se clasifican en función de su tamaño, del diferencial de productividad con la media sectorial y de su nivel de digitalización actual. Este nivel se establece a

partir de un cuestionario específico que contempla el despliegue de herramientas digitales en diversas áreas de la empresa, sin entrar en consideraciones estratégicas ni de recursos humanos. El resultado de esta primera evaluación implica la clasificación de la empresa en uno de los tres niveles existentes, que al igual que en el ámbito de la energía posibilitará a la empresa a abordar soluciones más o menos complejas.

En segundo lugar se ha determinado que las técnicas de mejora que se desprenden del diagnóstico se pueden agrupar en tres bloques:

- Técnicas relacionadas con el diseño de bastidores y el posicionamiento de las piezas en los mismos, cuando no se realice el proceso en tambores. Las tareas de colgar y descolgar piezas en bastidores lineales suponen una carga de trabajo muy importante, ya que se deben desarrollar de forma manual, al menos hasta la fecha.
- Gestión de entradas. Incluye tanto la gestión del consumo de energía en las líneas de baños específicamente, como la gestión del consumo de agua para los baños.
- El tercer bloque lo constituye el conjunto de técnicas que permiten optimizar el consumo de materias primas (metales especialmente) y mantener los baños en las condiciones adecuadas para que el proceso permita obtener piezas con las especificaciones establecidas siguiendo la secuencia de baños programada. Las técnicas empleadas se orientan a la reducción del arrastre, la mejora de los procesos de enjuague y las prácticas seguidas para la mejora del mantenimiento de soluciones de proceso.

En la *figura siguiente* se reproduce el mapa de tecnologías que podrían mejorar los aspectos clave del proceso de tratamiento de superficie, considerando el eje de la digitalización.

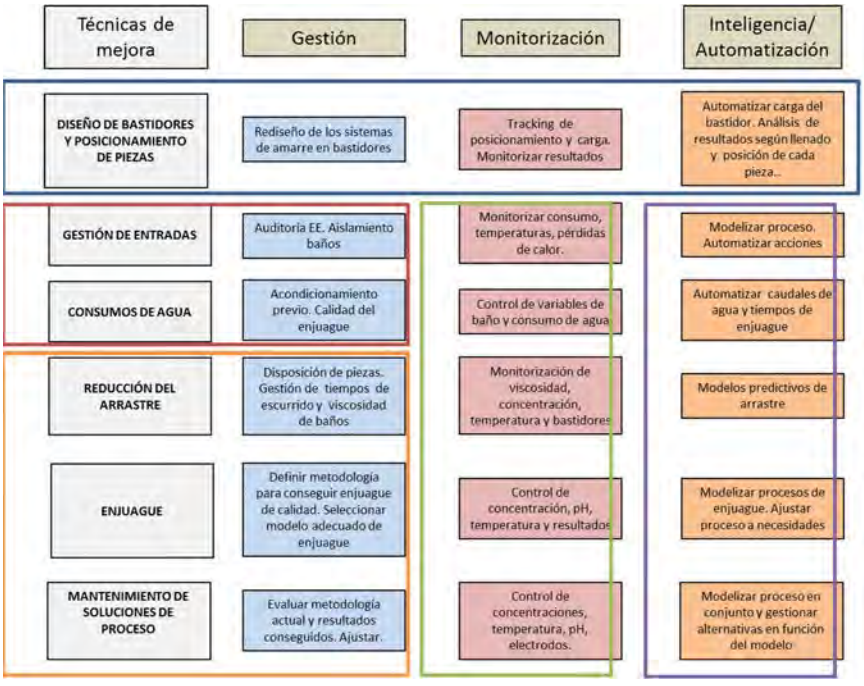



**Figura 4**- *Mapa tecnologías digitales en proceso tratamiento superficies. Fuente: AIDIMME*

Las propuestas que puede ofrecer el sistema se definen a partir del diagrama de estados, el cual muestra la secuencia de actuaciones que potencialmente se podrían desarrollar, en función de la situación actual de la empresa reflejada en las respuestas al cuestionario. Los estados deben entenderse como acciones genéricas a desarrollar, que podrán concretarse en función de la problemática detectada en la empresa. El diagrama de estados se define para el conjunto de

técnicas, aunque las potenciales soluciones se particularizan en función de las respuestas obtenidas. Se define el siguiente diagrama de estados:

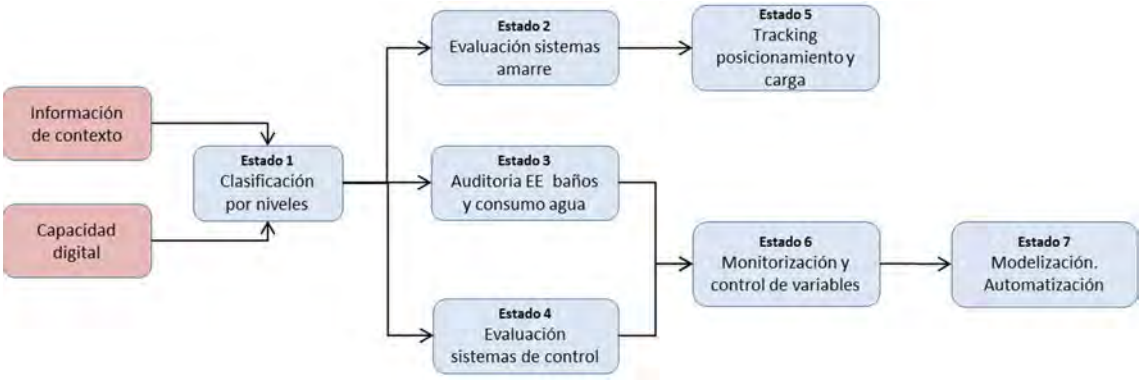



**Figura 5**- *Diagrama de estados para la eficiencia productiva. Fuente: AIDIMME*

Los estados 2, 3 y 4 hacen referencia a la necesidad de disponer de información relevante que permita evaluar el grado de aplicación de las diferentes técnicas de mejora, y por tanto las recomendaciones se orientarán en ese sentido.

El estado 5 propone medidas para realizar un seguimiento semi-automatizado o automatizado del posicionamiento de piezas en bastidores y del rendimiento de las cargas, y aplica al diseño de bastidores y posicionamiento de piezas.

Los estados 6 y 7 aplican al resto de técnicas, y recogerán las propuestas sobre automatización en la captura de datos, análisis, modelización de procesos y posibilidades de automatización.

## 4. APLICACIÓN EXPERTA DE ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y PRODUCTIVA INDUSTRIAL.

Se ha desarrollado una aplicación experta de análisis de eficiencia energética y productiva industrial para que sea accesible de manera sencilla a todas las empresas. Para ello, se desarrolló una aplicación Web en la que cada empresa se registra y accede a: un sistema de recogida de información, los resultados de análisis, los cuales se obtienen mediante la ejecución del motor de cálculo (*ver siguiente figura*).

**Figura 6.** *Componentes de sistema Energía Industrial 4.0. Fuente ITE.*

Se ha creado una Base de Datos relacional tipo SQL [FRANCISCO, M. y NICOLÁS, B. (2004)] donde se almacena en tiempo real y se envía toda la información a cada componente del proyecto. Para ello, cada empresa dispone de un identificador único (userid) que permite relacionar sus datos unívocamente desde diferentes tablas (respuestas, decisiones, estado actual, medidas a tomar, etc.), accediendo a sus resultados, editando las respuestas aportadas y/o continuando los cuestionarios donde se habían dejado en el último inicio de sección. Adicionalmente, el motor de cálculo accede a la base de datos para obtener las respuestas aportadas por las empresas y realizar los cálculos necesarios. La información de interés que se guarda en la base de datos es:

- Los cuestionarios que deben responder las empresas.
- Las preguntas de cada cuestionario y su posible dependencia con otra pregunta.
- Las respuestas de cada pregunta y su posible dependencia con otra pregunta y/o respuesta.
- Los perfiles de las empresas.
- Las respuestas de cada empresa a cada pregunta.
- Los resultados y decisiones inferidas para cada una de las empresas.

Haciendo uso de esta Base de Datos se ha creado la aplicación web, la cual es accesible a través de un servidor, permitiendo el registro a cualquier empresa. La aplicación se desarrolló en ASP.NET con un lenguaje de programación C# y utilizando el Modo Vista Controlador (MVC) [MICROSOFT], lo que permite diferenciar los desarrollos de Front-end y Back-end, donde los desarrollos de Front-end son el registro del usuario, el formulario de recogida de información, los resultados y medidas de análisis que puede tomar las empresas, y los desarrollos Back-end se encuentran el motor de cálculo. La aplicación Web utiliza los siguientes componentes:

- Autenticación: Cada empresa tiene un con un perfil de usuario único para que las empresas puedan tener un seguimiento. Como medida de seguridad la información básica de la empresa se codifica con algoritmos criptográficos la contraseña y el usuario.
- Sistema de recogida de datos: Este componente es donde las empresas aportas la información, esta información puede ser modificada y recuperada en cada inicio de sesión ya que son recuperadas desde la Base de Datos. Las respuestas se guarda automáticamente utilizando un script del lado del cliente (Modo Vista) que contiene instrucciones en JavaScript para detectar cuando se ha modificado una respuesta, en ese momento se genera un evento para realizar una solicitud HTTP asíncrona (Ajax) en la que se guarda la nueva respuesta en la Base de datos.
- Motor de cálculo: Al finalizar la evaluación del estado de cada área, el sistema desarrolla el plan de actuación en la que se calculan las decisiones apropiadas que debe tomar cada empresa para mejorar en cada área. Este módulo se implementó en el lado del servidor Back-end.
- Resultados de análisis: Los resultados se visualizan en gráficas realizadas en lado del cliente (Modo Vista) y utilizan librerías de Highcharts (lenguaje de Javascript) para los gráficos estadísticos y gráficos vectoriales escalables (SVG) (lenguaje de marcado extensible (XML) para los mapas de estado, estos gráficos permiten a las empresas tener una visual, con diversos objetos de visualización, de:

    - La eficiencia energética por área y estados y el mapa de ruta de cada área y sus estados. A continuación, *en la Figura 7*, se muestran objetos de este tipo de indicadores.

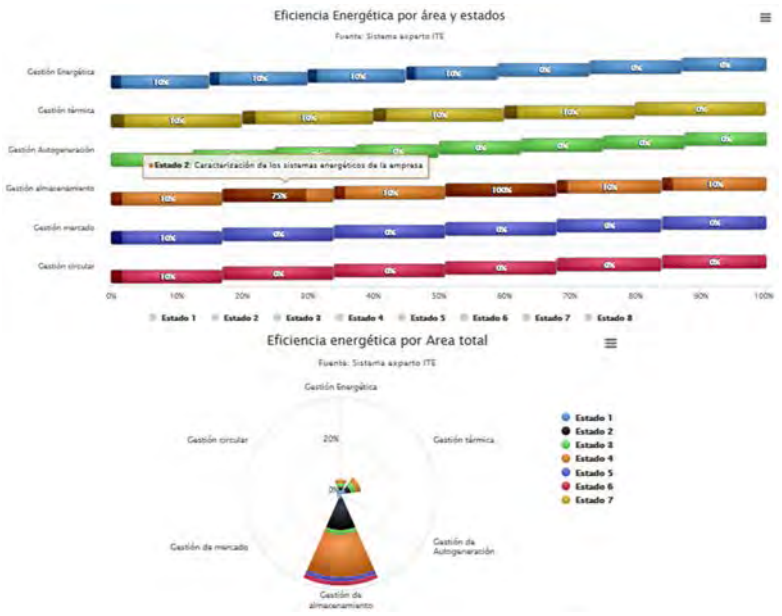



**Figura 7.** *Ejemplo de objetos de muestra de indicadores sobre estado energético. Fuente ITE.*

- Cada una de las medidas que puede tomar la empresa en cada área, según el sistema compone el plan de mejora por medio del motor de "Composición de Resultados"

En referencia a la "Composición de Resultados" el sistema es capaz de valorar, a partir del estado que haya auto diagnosticado la aplicación en cada área, más de 150 medidas caracterizadas total o parcialmente. Al mismo tiempo, se llevan a cabo más de 350 casos de resultados posibles que incluyen total o parcialmente una, varias o ninguna de dichas medidas. Para ello, se ha generado una base de conocimiento sólida, fácilmente ampliable y actualizada, basada en referencias contrastadas que van desde guías generales de eficiencia y tecnología, documentación técnica de proveedores tecnológicos y estudios propios del Instituto Tecnológico de la Energía. Con ello proporciona a la empresa un plan de acción personalizado, según las respuestas introducidas, que incluye una serie de medidas orientativas interesantes para alcanzar mayor eficiencia energética junto con una transformación digital de la misma. En este plan de mejora se ha intentado personalizar al máximo las respuestas atendiendo a diferencias por tamaño de empresas, características particulares de la empresa analizada o incluso a la propia predisposición a llevarlas a cabo en el corto y medio plazo. Las medidas diagnosticadas al usuario se analizan por medio de diferentes parámetros cuantitativos y cualitativos:

| | |
|---|---|
| **Dimensiones cuantitativas** | Magnitud característica, inversión estimada, ahorro económico esperable, tiempo de retorno, ahorro energético esperable, emisiones evitables. |
| **Dimensiones cualitativas** | Nivel de inversión, tiempo de ejecución, nivel de riesgo, nivel de dificultad, nivel de impacto, priorización en la ejecución. |

***Tabla I.*** *Detalle de las dimensiones analizadas en cada medida de eficiencia energética. Fuente ITE*

Junto a la valoración cualitativa de las 6 últimas dimensiones se proporciona un Índice de Impacto único para cada solución que permite establecer una comparación y priorización objetiva de cada una de las medidas analizadas. La *siguiente figura 8* muestra un ejemplo parcial del formato de los resultados que compone el sistema, en este caso es el inicio de las recomendaciones obtenidas en el área de Gestión Energética en el estado de Recogida de Datos:

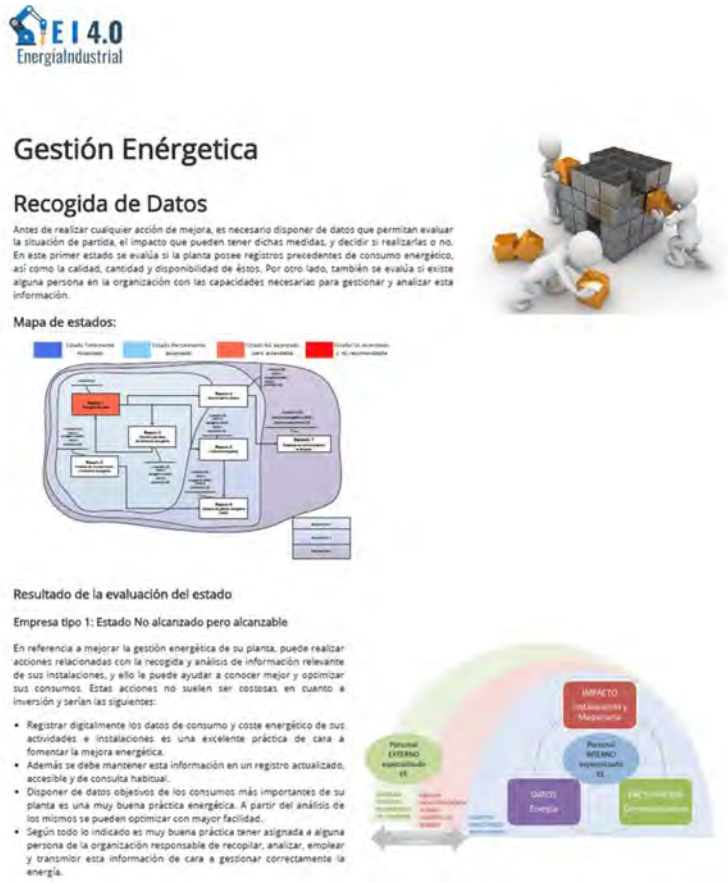



**Figura 8.** *Formato de ejemplo parcial de muestra de resultados. Fuente ITE.*

En estas fichas de resultados, y para cada etapa de cada área, inicialmente, se realiza una pequeña descripción de la temática que evalúa y se ubica en el mapa de estados coloreándolo de manera diferente dependiendo de la situación de la empresa con respecto al mismo. A continuación se indica si el estado está alcanzado, total o parcialmente, o no y qué medidas hay que seguir para alcanzarlo, es decir, un plan de acción personalizado. Por último se muestran las medidas relacionadas con este estado con una descripción y cuantificación de sus dimensiones relevantes a tener en cuenta y, posteriormente, ordenadas y comparadas cada media por el índice de impacto.

En cuanto a la composición de resultados de eficiencia de proceso se ha planteado de una forma más sencilla, mostrando por un lado el nivel de la empresa según se indica en la *figura siguiente*:

**Figura 9.** *Nivel de empresa desde la perspectiva de procesos. Fuente AIDIMME.*

Y por otro lado se muestra una valoración global en las tres áreas evaluadas, indicando el nivel en el que se encuentra cada una de ellas. Se diferencian tres niveles, dependiendo del estado en el que se encuentre la empresa: Gestión, con los estados 2, 3 y 4; Monitorización, con los estados 5 y 6; y Automatización con el estado 7.

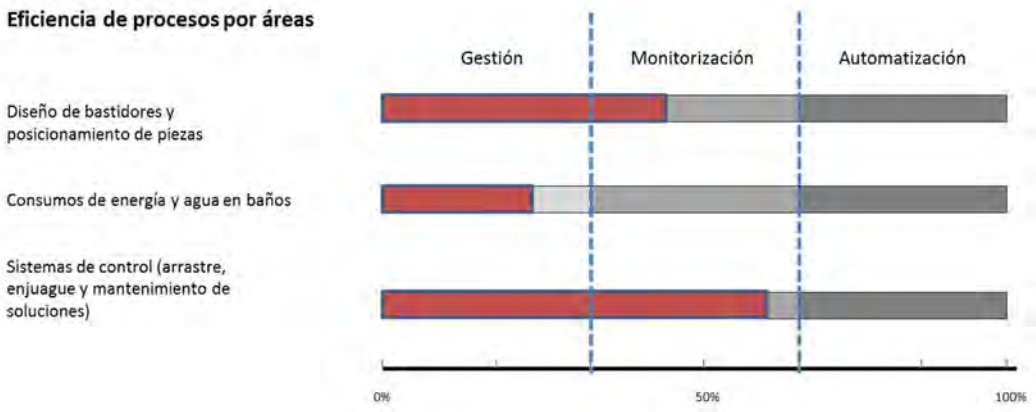



**Figura 10.** *Valoración de la empresa por áraes desde la perspectiva de procesos. Fuente AIDIMME.*

Además de estas valoraciones globales, la aplicación ofrecerá un conjunto de propuestas específicas tendentes a mejorar la eficiencia de los procesos.

## 5. CONCLUSIONES

La principal conclusión que se puede obtener de este proyecto es doble; por un lado, la existencia de una multitud de soluciones tecnológicas habilitadoras, tanto en cantidad como en variedad, para alcanzar los objetivos de iniciativas de referencia como Industria Conectada 4.0 a nivel nacional, o Industry 4.0 Readiness, de IMPULS de la Federación Alemana de Ingeniería conducentes a homogeneizar un alto nivel de digitalización industrial. Por otro lado, la complejidad y diversidad de situaciones actuales en cuanto al estado de las empresas, muchas de las cuales desconocen total o parcialmente las soluciones de eficiencia energética y productiva digital que tienen a su disposición o sólo disponen información sesgada que les imposibilita la selección objetiva de soluciones.

Por ello, la misma estructuración de una base de conocimiento experto, asemejable a las competencias de asesores expertos en la materia, y que combina, organiza y presenta información a distintos niveles, supone ya de por sí un resultado reseñable. A ello se añade la composición de resultados de manera automática e inteligente, permitiendo una estandarización en este asesoramiento inicial y favoreciendo un uso potencialmente alto de la herramienta, con un enfoque deliberadamente orientado a PYMES y empresas con bajos conocimientos en la materia, pero sin renunciar aun así a empresas de todo tipo de tamaños y características. El objetivo a medio plazo es claro; todas las empresas deberían apoyarse en medidas digitales total o parcialmente, en función de sus capacidades, y la información debería integrarse en la medida de lo posible, combinando las diferentes tecnologías de manera total o parcial en sistemas digitales holónicos.

## 5. AGRADECIMIENTOS

El proyecto “Integración de tecnologías avanzadas para mejorar la Eficiencia energética y de procesos en empresas con procesos Industriales homogéneos”, Energía Industrial 4.0, ha sido cofinanciado por el Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial (IVACE) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), dentro del Programa Operativo de la Comunitat Valenciana 2014-2020. Han participado el Instituto Tecnológico de la Energía (ITE) y el Instituto Tecnológico Metalmecánico, Mueble, Madera, Embalaje y Afines (AIDIMME).

## 3. REFERENCIAS

CARRERO, A. y GARCÍA, J. (2015).: “Gestión de la eficiencia energética: cálculo de consumo, indicadores y mejora”. AENOR.

FRANCISCO, M. y NICOLÁS, B. (2004).: “Un enfoque práctico de SQL”, Ediciones Cooperativas, 2004.

MICROSOFT.: “ASP.NET MVC Pattern”, En línea, https://dotnet.microsoft.com/apps/aspnet/mvc

MINECO (2017).: “Industria Conectada 4.0”, http://www.industriaconectada40.gob.es, Ministerio de Economía, Industria y Competitividad. Gobierno de España.

VINGERHOET, P. et al. (2016).: “The Digital Energy System 4.0”, ETP Smart Grids

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

12:15 - 14:15

**SESIÓN 5 Track B. INDUSTRIA 4.0 y BIG DATA**
Modera: Antonio Miranda

"Sistema experto para evaluación digital e inteligente de la eficiencia energética industrial" **Andrés Lluna Arriaga.** Resp. Industria y Eficiencia Energética **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ENERGÍA**

"Las redes de iluminación: la nueva herramienta de gestión para la industria 4.0" **Gabriel Butler Monterde**. CEO Grupo Geniadabar SL. **GENIA GLOBAL ENERGY**

"Auditoría Preliminar o de nivel I según ASHRAE: una herramienta poderosa para ahorro de Energía" **José Samuel Monterroso. Gerente. ECONOVA**

"Proyecto Smart Campus en la Universidad Rey Juan Carlos: implantación de la metodología BIM y tecnologías IoT para la gestión eficiente de los activos inmobiliarios". Javier Orellana. Gestor Energético Unefe. **José Miguel Luna.** Resp Desarrollo Producto. **UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS (URJC).**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# LAS REDES DE ILUMINACIÓN LA NUEVA HERRAMIENTA DE GESTIÓN PARA LA INDUSTRIA 4,0

Gabriel Butler Monterde

Genia global energy

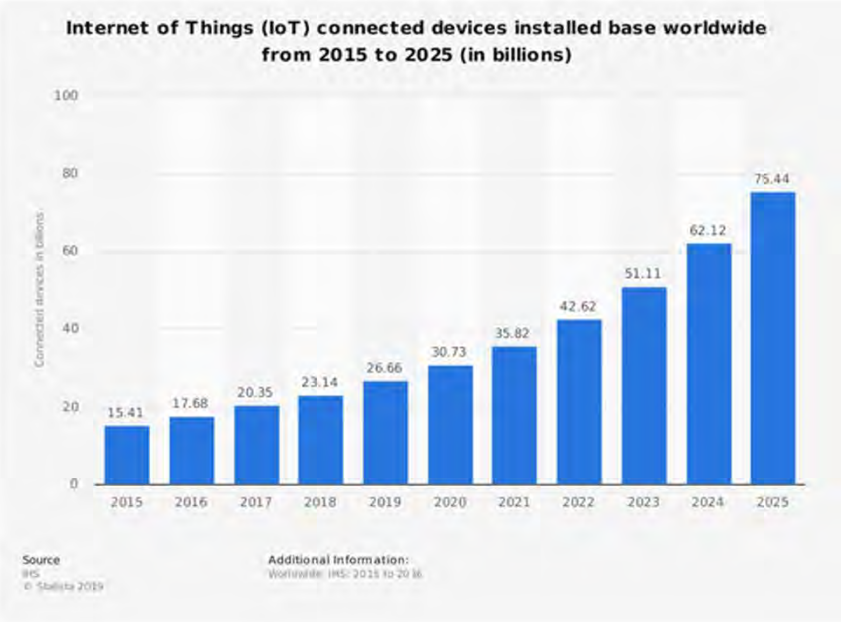
AEE The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# La iluminación como vehículo para la inteligencia empresarial

## Digitalización & IoT

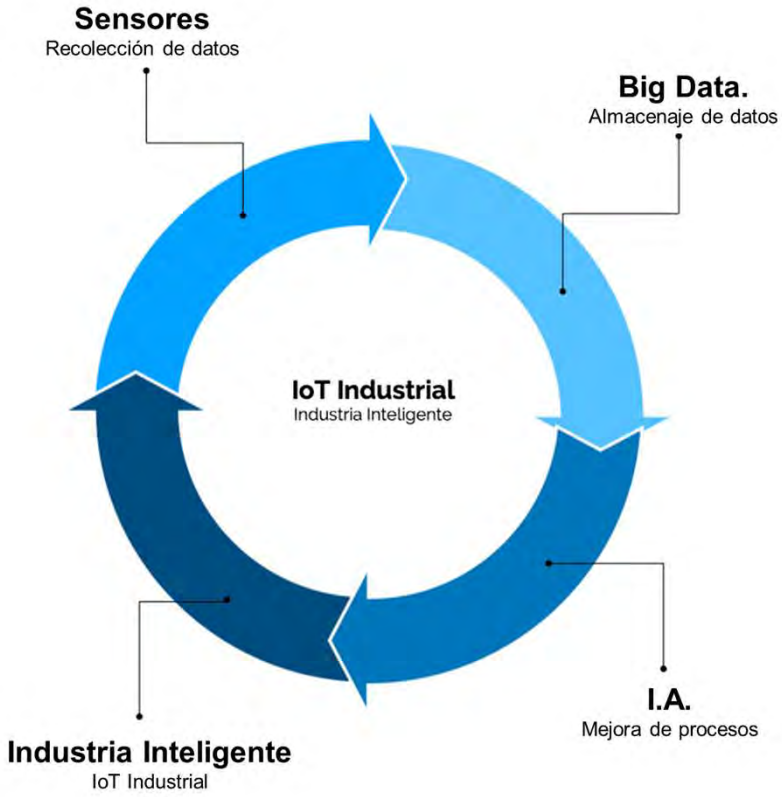
- El 50% de todos los activos nuevos serán **autosuficientes**. Los **dispositivos conectados** llegarán a los **30.000 millones en 2020**
- **El 45% de las empresas** que adopten **IoT** en Europa Occidental aplicarán **I.A.** y tecnologías analíticas
- España es el 5º país en inversión en IoT en Europa, y **se espera que el gasto crezca en un 16% anualizado** entre 2017 y 2021 alcanzando los 19.000 millones de euros.




*Datos IDC Research España*

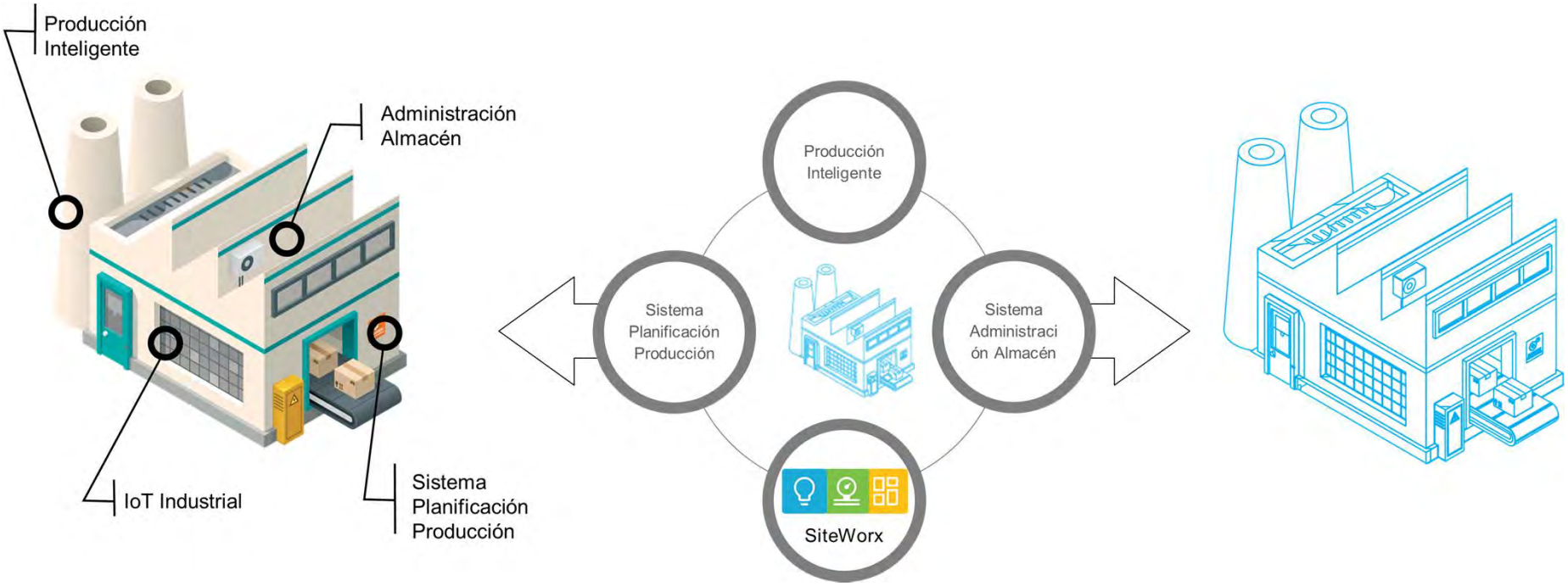
# Que Tecnologías han originado industria 4.0
# Hiperconectividad

- Capacidad para poder medirlo todo de forma precisa.
- No tener limites de almacenamiento.
- Capacidad de la tecnología para procesar y analizar estos datos por muy grandes que sean, datos objetivos.
- Que nos permitan tener un mayor conocimiento de nuestro negocio para tomar mejores decisiones mas acertadas.



# Industria inteligente 4.0

**Una industria la cual tiene una réplica virtual de sus sistemas, para permitir el análisis, control y optimización del entorno físico.**

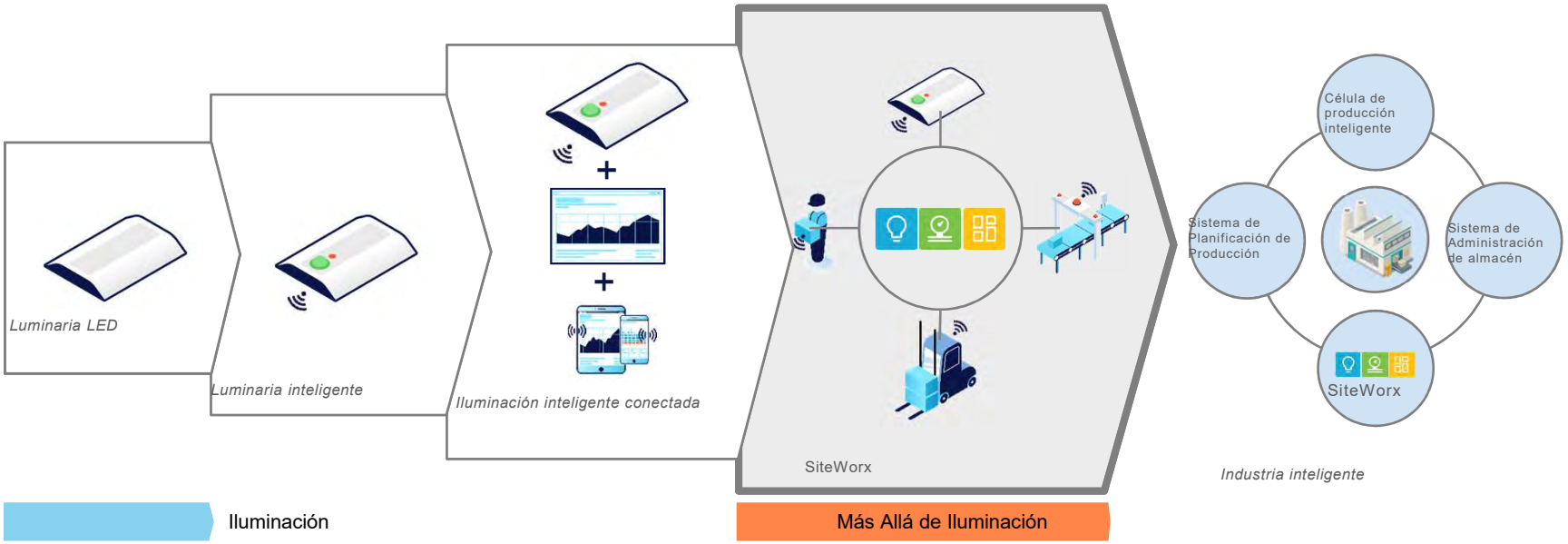



**Entorno físico**

**Replica virtual**

# La iluminación como vehículo para la inteligencia empresarial

## Evolución Digital Lumens hacia el IoT Industrial



# Iluminación como infraestructura de la industria 4,0

Luminarias
Inteligentes Sensorizadas

Sistema de Interconexión
redes inalámbricas.

Software de Planificación
y Control Centralizado.

# Iluminación como infraestructura de la industria 4,0

Sensor de ocupación integrado Sensor de Luz ambiente Integrado

Opticas Ajustables e Independientes de 0º 180º

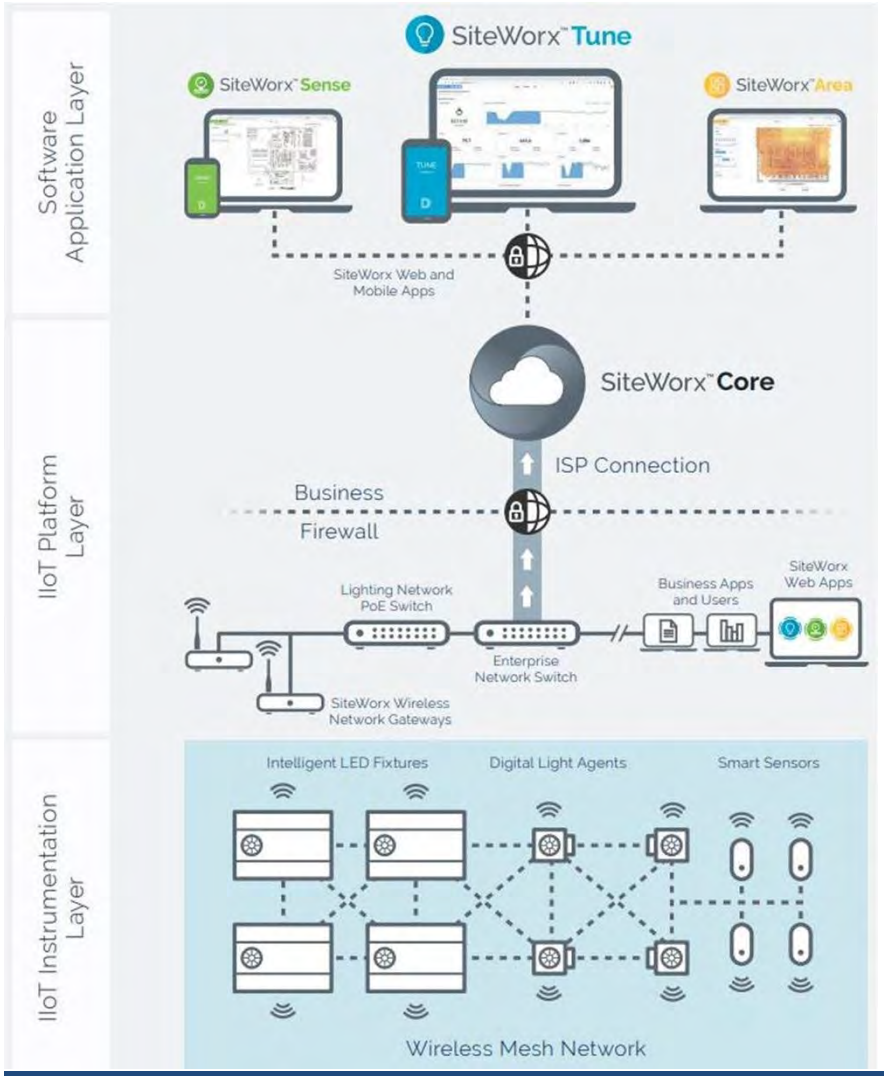
Regulador de Intensidad Luminica, integrado.

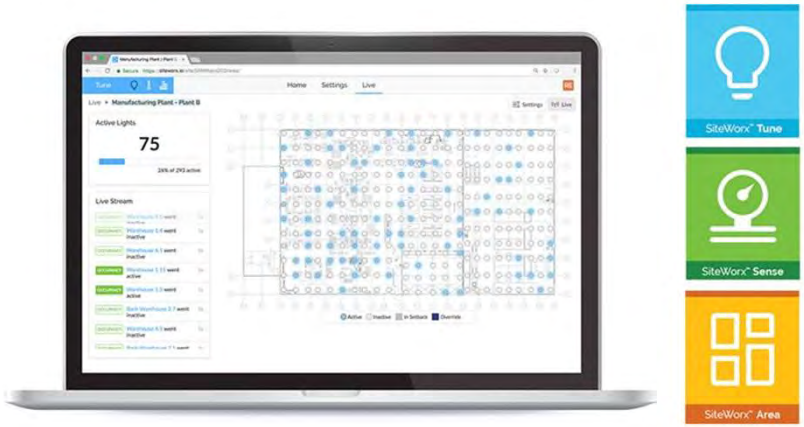
Connexión Inalambrica

Medidor de Energia Ordenador y control Integrado Registro con Memoria Interna.

- Configuración a través de SiteWorx
- Ahorro por aprovechamiento luz solar
- Programación encendido/apagado por horarios
- Informe ahorro de energía
- Informes consumo de energía y ahorros obtenidos
- Reducción tiempos de parada y mantenimiento
- Automatización de procesos
- Acceso desde cualquier lugar

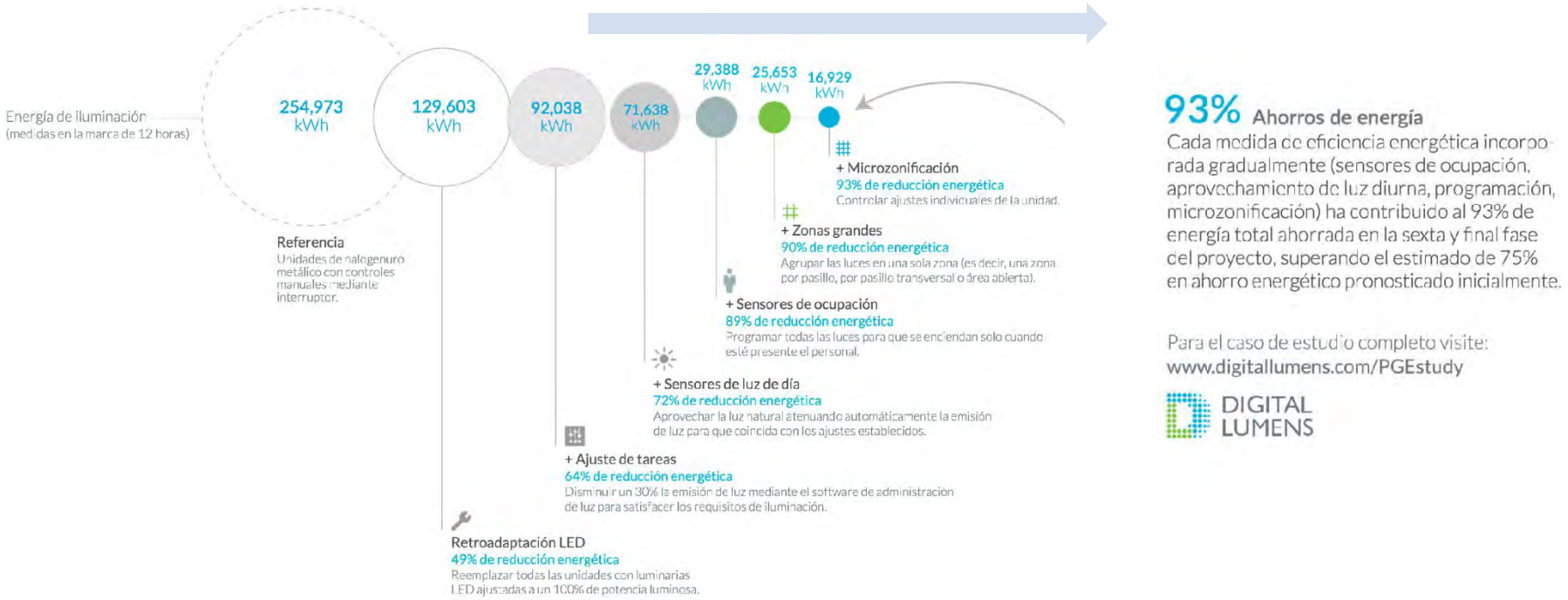
# Solución SiteWorx infraestructura IoT



# Red Mallada de sensores

# Ahorros de hasta el 90% gracias a IoT




CASO DE ESTUDIO PG&E / ACE HARDWARE
Los controles automáticos de iluminación reducen el uso de energía en iluminación

# Caso de éxito

Coca-Cola European Partners

- Ahorro energía **3.833.689 (kWh/año)**
- Reducción emisiones **1.265 (tCO2)**
- Reducción coste de energía **93,30%**
- Superficie 72.630 m2
- Reducción de potencia **474,60 (kW)**
- Reducción de luminarias **3.685**

El sistema es Digital Lumens, con **SiteWorx™** como software de gestión. Durante la elaboración del proyecto hemos trabajado con el Departamento de Calidad y Medio Ambiente desde Junio de 2017.

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Genia global energy

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Las redes de iluminación la nueva herramienta de gestión para la industria 4,0

**Gabriel Butler Monterde**

1 C/ Luis García Berlanga 11 - Oficina 01 46023 Valencia (Spain) - ceo@geniaglobal.com

**Resumen:** DIGITAL LUMENS: ULTRAEFICIENCIA ENERGÉTICA EN ILUMINACIÓN
El sistema sistemas de iluminación inteligente más avanzado del mundo consigue ahorros superiores al 90% gracias a IoT e inteligencia empresarial.

La evolución de la tecnología led ha significado un importante avance para el ahorro en iluminación, pero la aplicación de tecnología para exprimir el ahorro sin perder calidad de iluminación está dando lugar a sistemas de alumbrado inteligentes capaces de proporcionar ahorros que superan ampliamente el 90% respecto a los sistemas convencionales. Los sistemas más avanzados son además capaces de aportar valiosos datos para la inteligencia empresarial.

La sostenibilidad es uno de los grandes objetivos de las compañías líderes de la industria, que dedican grandes esfuerzos para reducir el impacto de su actividad sobre el medio ambiente. Las compañías más concienciadas tratan de reducir la huella de CO2, el más conocido y referencia de los gases con efecto invernadero en toda la cadena de producción. En la iluminación de los centros de producción y logísticos se ha encontrado un yacimiento de posibilidades para el ahorro de energía y de dinero cuando se implantan sistemas inteligentes como Digital Lumens.

**Palabras clave:** iluminación inteligente industrial.

## 1. TEXTO PRINCIPAL

DIGITAL LUMENS: ULTRAEFICIENCIA ENERGÉTICA EN ILUMINACIÓN
El sistema sistemas de iluminación inteligente más avanzado del mundo consigue ahorros superiores al 90% gracias a IoT e inteligencia empresarial.

La evolución de la tecnología led ha significado un importante avance para el ahorro en iluminación, pero la aplicación de tecnología para exprimir el ahorro sin perder calidad de iluminación está dando lugar a sistemas de alumbrado inteligentes capaces de proporcionar ahorros que superan ampliamente el 90% respecto a los sistemas convencionales. Los sistemas más avanzados son además capaces de aportar valiosos datos para la inteligencia empresarial.

La sostenibilidad es uno de los grandes objetivos de las compañías líderes de la industria, que dedican grandes esfuerzos para reducir el impacto de su actividad sobre el medio ambiente. Las compañías más concienciadas tratan de reducir la huella de CO2, el más conocido y referencia de los gases con efecto invernadero en toda la cadena de producción. En la iluminación de los centros de producción y logísticos se ha encontrado un yacimiento de posibilidades para el ahorro de energía y de dinero cuando se implantan sistemas inteligentes como Digital Lumens.

Compañías como Nestlé, Coca Cola, Idilia Foods, Heinz, Arrocerías Pons o Domino’s Pizza han apostado por el sistema de iluminación inteligente de digital Lumens que incorpora, además de luminarias led, sensores, internet de las cosas y control inteligente para extremar los ahorros, que llegan a superar ampliamente el 90%.

Digital Lumens es uno de los sistemas de iluminación inteligente más avanzados del mundo y está presente en España a través de la ingeniería energética valenciana Genia Global Energy. Este sistema utiliza unas luminarias led que disponen de múltiples sensores para detectar en todo momento circunstancias como la presencia o no de trabajadores, las condiciones lumínicas del entorno, la temperatura, consumo de energía y otros parámetros.

Las luminarias están conectadas entre sí y a un control central mediante un sistema inalámbrico basado en protocolo zigbee. Cada luminaria se comporta como una neurona de una red inteligente, obteniendo datos y compartiéndolos con el resto de luminarias y el control central.

Ese control central se basa en un software capaz de controlar todas las luminarias de forma remota (incluso desde un móvil), establecer perfiles de uso según zonas y horarios e incluso "aprender" por sí mismo nuevos patrones de ahorro de energía adaptados al tipo de actividad que se realiza en la nave en cada momento. Esto significa, por ejemplo, que las luces pueden apagarse o reducir su intensidad automáticamente cuando no se están efectuando trabajos en el entorno o la intensidad lumínica es suficiente, e ir encendiéndose en décimas de segundo y de forma sincronizada al paso de trabajadores a pie o en vehículos. De esta forma nunca se utiliza más que la energía necesaria en el momento.

En función de si se trabaja en local o en la nube, Genia Global Energy utiliza el software Ligthrules o Site Worx, también de Digital Lumens. Este software mide y proporciona en todo momento el consumo real y el uso y estado de la instalación, datos que sirven para hacer más eficiente la organización empresarial en la instalación, pues pueden aprovecharse para identificar flujos de circulación de trabajadores, espacios poco utilizados o cuellos de botella del proceso productivo.

Un sistema de iluminación inteligente disminuye el riesgo de accidentes con montacargas para los empleados y reduce los costes, ya que el mantenimiento y la reposición de materiales son mínimos (la vida útil mínima de un sistema de estas características se estima en al menos 25 años). Gabriel Butler, Ceo de Genia Global Energy afirma que "una inversión en iluminación inteligente de última generación, además de los beneficios medioambientales, se paga sola con el ahorro obtenido en un periodo de tan solo 1 o 2 años, produciendo grandes ahorros desde el primer momento."

Un ejemplo práctico: la planta de Coca Cola European Partners en Barcelona
Un ejemplo de los resultados reales de economía en consumo de KW, dinero y emisiones con un sistema inteligente lo tenemos en el mayor centro de producción en España de Coca Cola European Partners, situado en Martorelles, Barcelona, fue construido en 2006 y ocupa una superficie de 500.000m2.

Se trata de una instalación con un alto grado de automatización, que sin embargo mantenía un sistema de iluminación tradicional.

Coca Cola European Partners es una empresa con un fuerte compromiso por la sostenibilidad, que se ha traducido entre 2010 y 2016 en una reducción del uso de energía del 24% y una reducción de la huella de carbono del 69,9%.

Buscando la excelencia en sostenibilidad en todos los ámbitos, en 2016 el departamento de Calidad y Medio Ambiente de Coca Cola EP decidió hacer más eficaz el consumo energético en iluminación, proyecto para el que seleccionó las soluciones de Genia Global Energy.

El proyecto de renovación de la iluminación tiene como objetivo reducir el consumo de energía en más de un 90% y se ha emprendido en 3 fases:

- La primera, ya ejecutada en 2017 ha consistido en la renovación del sistema de iluminación de 72.604m2 de zonas de almacén.

- La fase en ejecución en 2018 y la final en 2019 se dedican a la renovación de zonas de producción, cámaras y resto de zonas de almacén, completando 23.539m2 este año y 18.943m2 en 2019, por o que se trata de un megaproyecto.

El sistema elegido, basado en tecnología de Digital Lumens, es completamente flexible y aplicable a cualquier ampliación de la planta, incluso está previsto implantarlo en el futuro en las oficinas de Martorelles y otras plantas embotelladoras de la compañía.

El ahorro de la actuación ya ejecutada (2017) equivale a evitar la emisión de más de 10 camiones cargados con 40Tm de carbono cada año. El ahorro global a la finalización del proyecto será equivalente a retirar 32 camiones cargados con 40Tm de carbono cada año.

El ahorro de la actuación 2017 equivale al carbono que absorben 15 pinos piñoneros adultos (una de las especies que más CO2 absorbe). El ahorro de emisiones global será equivalente al carbono que absorbe durante un año un pequeño bosque de 50 pinos adultos.

Este tipo de iluminación es útil tanto para grandes instalaciones como la planta embotelladora de Coca Cola como para instalaciones menores, como los 500m2 de las instalaciones del nuevo molino de Arrocerías Pons (interproveedor de Mercadona), a quien le va a suponer ahorros de más del 90% en KW y € frente a la iluminación convencional.

Ahorros de más del 100% ¿Es posible?

Estos sistemas de iluminación resultan especialmente rentables en instalaciones de frío industrial, primero porque son capaces de trabajar sin problemas con temperaturas de hasta -40º, pero sobre todo porque, al no producir apenas calor (estas luminarias originan tan solo el 4% del calor que producirían las luminarias tradicionales de fluorescentes o halogenuros metálicos), generan ahorros también en el sistema de climatización, que no necesita contrarrestar el efecto calor de la iluminación.

Sumando los ahorros en iluminación y los derivados del ahorro del sistema de frio se han conseguido resultados reales de ahorro superiores al 100% del consumo eléctrico en iluminación sobre un sistema tradicional, es decir la compañía se ahorra más de todo lo que pagaba en iluminación. Gabriel Butler pone como ejemplo los proyectos ejecutados por Genia Global Energy para las instalaciones de los almacenes frigoríficos de la empresa Friopuerto en Valencia, Veracruz (México), Sines (Portugal), Tánger (Marruecos) y Montevideo (Uruguay).

Inteligencia empresarial

Los sensores ubicados en las luminarias, dado que cubren toda la instalación de forma uniforme, se convierten en una eficaz herramienta de recopilación de datos, no solo de la iluminación, también aspectos como la temperatura, el consumo energético y grado de ocupación de máquinas o el tráfico de personas o vehículos por cada zona. Conectados a un sistema de procesamiento como Lightrules o SiteWorx son de gran utilidad para optimizar los recursos y garantizar la seguridad.

Un sistema de iluminación inteligente de Digital Lumens se convierte así no solo en un ahorro económico en energía, también puede hacer que toda la empresa sea más eficiente.

El cambio climático es una realidad, y reducir emisiones de CO2 sería motivo suficiente para optar por un sistema de iluminación eficiente. Si además la compañía consigue mejorar la seguridad de los empleados, reduce drásticamente sus costes de energía y consigue hacer más eficiente su actividad, optar por la iluminación inteligente de Digital Lumens se convierte en una prioridad para las empresas responsables, que siempre están pensando en alcanzar “el siguiente nivel”.

## 2. AGRADECIMIENTOS

## 3. REFERENCIAS

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

12:15 - 14:15

**SESIÓN 5 Track B. INDUSTRIA 4.0 y BIG DATA**
Modera: Antonio Miranda

"Sistema experto para evaluación digital e inteligente de la eficiencia energética industrial" **Andrés Lluna Arriaga.** Resp. Industria y Eficiencia Energética **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ENERGÍA**

"Las redes de iluminación: la nueva herramienta de gestión para la industria 4.0" **Gabriel Butler Monterde**. CEO Grupo Geniadabar SL. **GENIA GLOBAL ENERGY**

"Auditoría Preliminar o de nivel I según ASHRAE: una herramienta poderosa para ahorro de Energía" **José Samuel Monterroso. Gerente. ECONOVA**

"Proyecto Smart Campus en la Universidad Rey Juan Carlos: implantación de la metodología BIM y tecnologías IoT para la gestión eficiente de los activos inmobiliarios". Javier Orellana. Gestor Energético Unefe. **José Miguel Luna.** Resp Desarrollo Producto. **UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS (URJC).**

# Auditoría Preliminar o de Nivel I según ASHRAE: Una herramienta poderosa para ahorro de Energía

José Samuel Monterroso, PhD., M.A., Ing. C.E.M., G.B.E.

econova
competitividad energética

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice


1 Tópicos

2 Concepto de Auditoría Energética

3 Realizando la auditoría

4 Medidas de Ahorro propuestas

5 Ahorros potenciales

6 Hallazgos encontrados en diferentes

# Tópicos

- Medidas de eficiencia energética (EEM, por sus siglas en inglés) son aquellas que se ajustan a los sistemas y controles de edificios o a las instalaciones de equipos que resultan en un menor uso de energía.
- Compañía de servicios de energía (ESCO -ESE): Es una compañía que identifica mejoras energéticas, proporciona el capital necesario para instalar mejoras, ofrece servicios de instalación llave en mano y garantiza ahorros de energía.

# Auditoría Energética

- El propósito de una auditoría de energía (a veces llamada "evaluación de energía" o "estudio de energía") es determinar dónde, cuándo, por qué y cómo se utiliza la energía en una instalación, e identificar oportunidades para mejorar la eficiencia. Los servicios de auditoría de energía son ofrecidos por compañías de servicios de energía (ESCO), consultores de energía y empresas de ingeniería.
- El resultado principal de una auditoría de energía es una lista de medidas de eficiencia energética recomendadas (EEM), su potencial de ahorro de energía asociado y una evaluación de si los costos de instalación de EEM son una buena inversión financiera.

# ASHRAE Nivel 1:
# análisis de recorrido / auditoría preliminar

- La auditoría de nivel 1, alternativamente, se denomina "auditoría simple", "auditoría de selección" o "auditoría de paso" es el punto de partida básico para la optimización de la energía de edificios. Se trata de entrevistas breves con el personal operativo del sitio, una revisión de las facturas de servicios (electricidad, aguas, combustible) de la instalación y otros datos operativos, y un recorrido abreviado del edificio.
- La auditoría de nivel 1 de ASHRAE está orientada hacia la identificación del potencial de mejoras energéticas, la comprensión de la configuración general del edificio y la definición del tipo y la naturaleza de los sistemas de energía.

# ASHRAE Nivel 1:
# análisis de recorrido / auditoría preliminar

- La auditoría debe dar como resultado un análisis preliminar, de alto nivel, del uso de energía para toda la instalación y un breve informe que detalla los hallazgos, que puede incluir la identificación de una variedad de oportunidades de eficiencia reconocibles. Por lo general, este informe no proporciona recomendaciones detalladas, excepto para proyectos muy visibles o fallas operativas.
- La auditoría de nivel 1 de ASHRAE está destinada a ayudar al equipo de energía a comprender dónde se desempeña el edificio en relación con sus pares; establecer una línea de base para medir mejoras; decidir si es necesaria una evaluación adicional; y si es así, dónde y cómo enfocar ese esfuerzo.

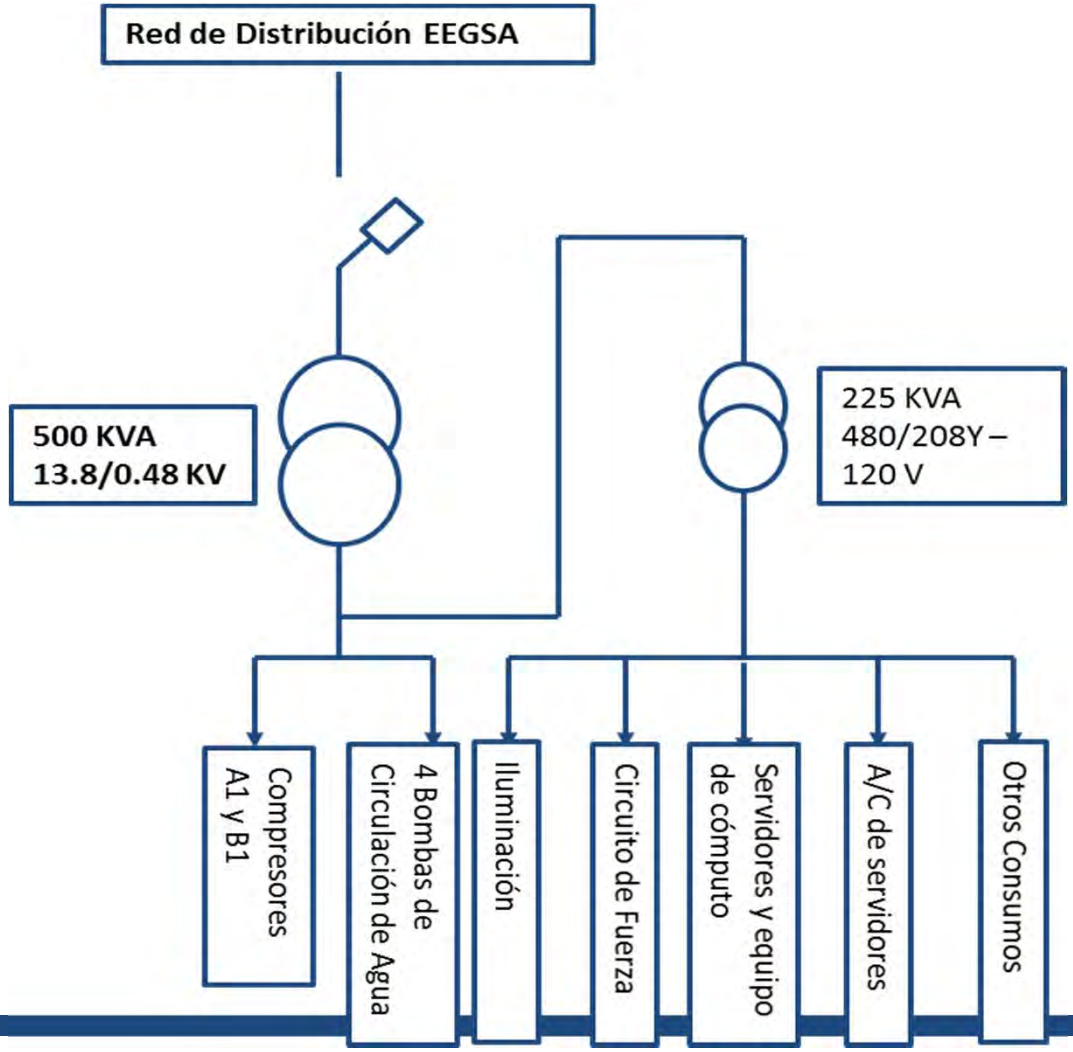
# Realizando la Auditoría de Nivel 1

Esta información fue extraída de la Auditoría energética realizada en las instalaciones de una empresa farmacéutica en el área de oficinas administrativas. El objetivo fue identificar oportunidades de mejora y riesgos potenciales, en la Subestación Eléctrica, donde se realizó termografía del Transformador Principal de 500 KVA (13.8/0.48 KV), Transformador SIEMENS 225 KVA (480/208Y-120 V); se realizó termografía en el Tablero Principal del Chiller (FLIPON 300 A), Compresor B1 45 KW, Compresor A1 67 KW, 2 Bombas de circulación de agua de 5.5 KW cada una y tablero de control de bombas. Por ultimo una inspección visual de los tableros de distribución en el área de oficinas.

# Realizando la Auditoria de Nivel 1

Se instaló el analizador de redes trifásicas (DRANETZ) los días 16 de noviembre en el período de 14:40 a 24:00 y 17 de noviembre en el período de 00:00 a 14:30 para monitorear el consumo y la calidad de energía del Chiller, el cual representa el mayor consumo de energía eléctrica durante el día.

# Diagrama Unifilar representatico



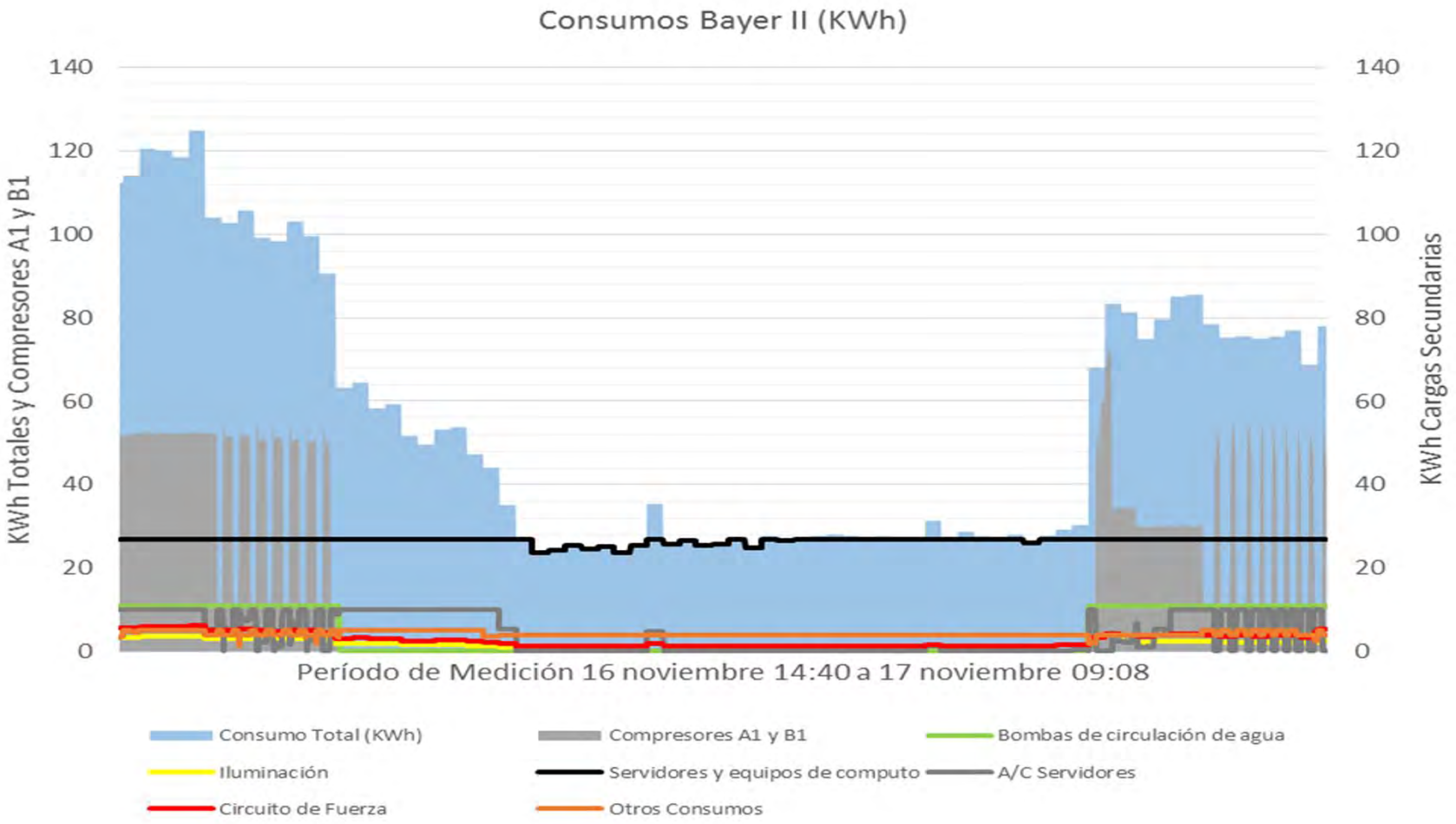
# Mediciones en campo y estimaciones

- El análisis presentado a continuación consiste en una estimación del consumo de las principales cargas de las oficinas de a farmacéutica Se realiza un apilamiento de cargas en el cual se representa el consumo total con una gráfica de área y superpone el consumo de los compresores A1 y B1.
- El consumo de ambos compresores (gráfica de área en color gris) es una medición real realizada con el DRANETZ en intervalos de 30 segundos y el consumo total (gráfica de área en color celeste) se obtiene de la plataforma PrimeWeb en períodos cuarto-horarios. Se realizó una estimación de consumos de otras cargas como son: las bombas de circulación de agua (gráfica de línea en color verde), circuito de iluminación (gráfica de línea color amarillo), circuito de fuerza (gráfica de línea color rojo), servidores y equipo de cómputo (gráfica de línea color negro), aire acondicionado de servidores (gráfica de línea color gris) y otros consumos (gráfica de línea color naranja).

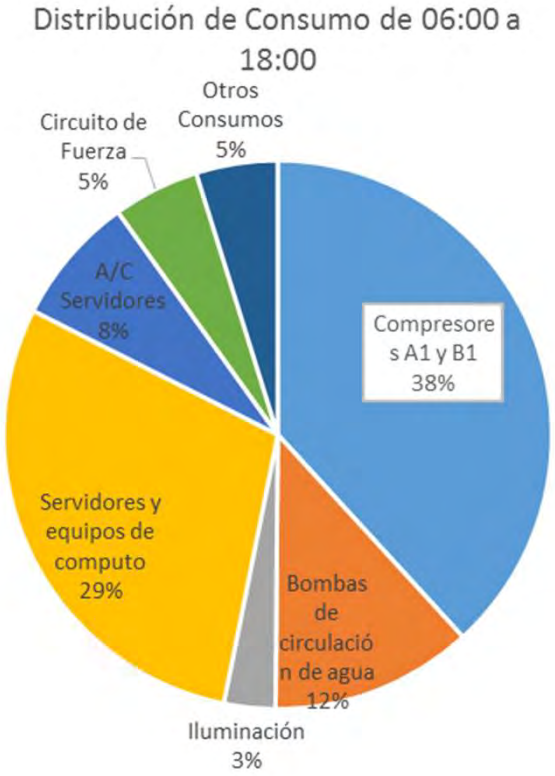
# Mediciones en campo y estimaciones

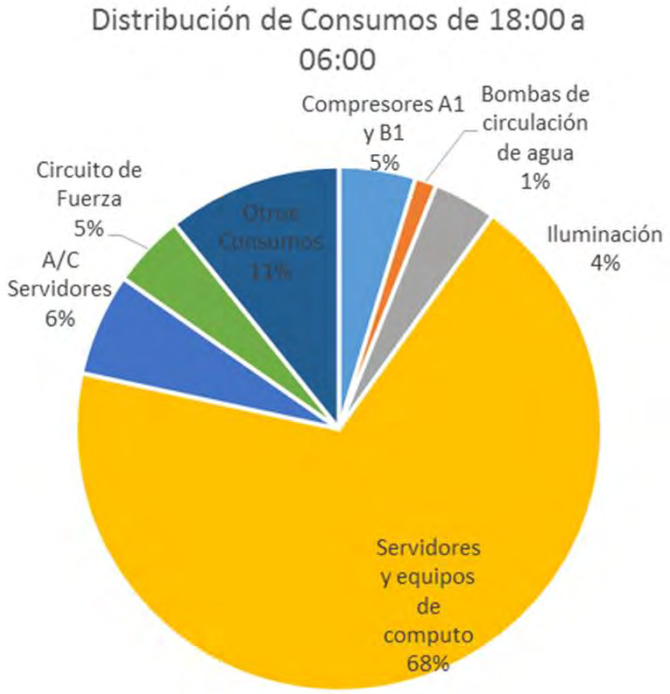
- En la gráfica se observa que el periodo de funcionamiento de los compresores es de 05:30 a 18:00 y las secuencias de arranque y paro de los mismos. Las bombas de circulación de agua consumen energía eléctrica en forma constante ya que los variadores de frecuencia no se encuentran funcionando.
- Se considera que la carga base de 27 KWh corresponde a los servidores y equipo de cómputo, la iluminación representa un consumo aproximado de 4% durante la noche y 3% durante el día; mientras que los circuitos de fuerza representan un 5% del consumo total en un día típico. El resto de consumos corresponde al aire acondicionado que climatiza el área de servidores y otros consumos que se presentan en las instalaciones.

# Perfil de carga



# Distribución de Consumos energéticos



# Medidas de ahorro propuestas

Se recomienda ajustar la programación del tiempo de funcionamiento de los compresores A1 y B1, reduciendo el tiempo de operación durante horario laboral. Actualmente de lunes a viernes el Chiller inicia su funcionamiento a las 05:30 y se apaga a las 18:00, por lo cual se recomienda reducir el tiempo de funcionamiento y reprogramar su operación iniciando a las 06:30 y que se apague a las 17:00.

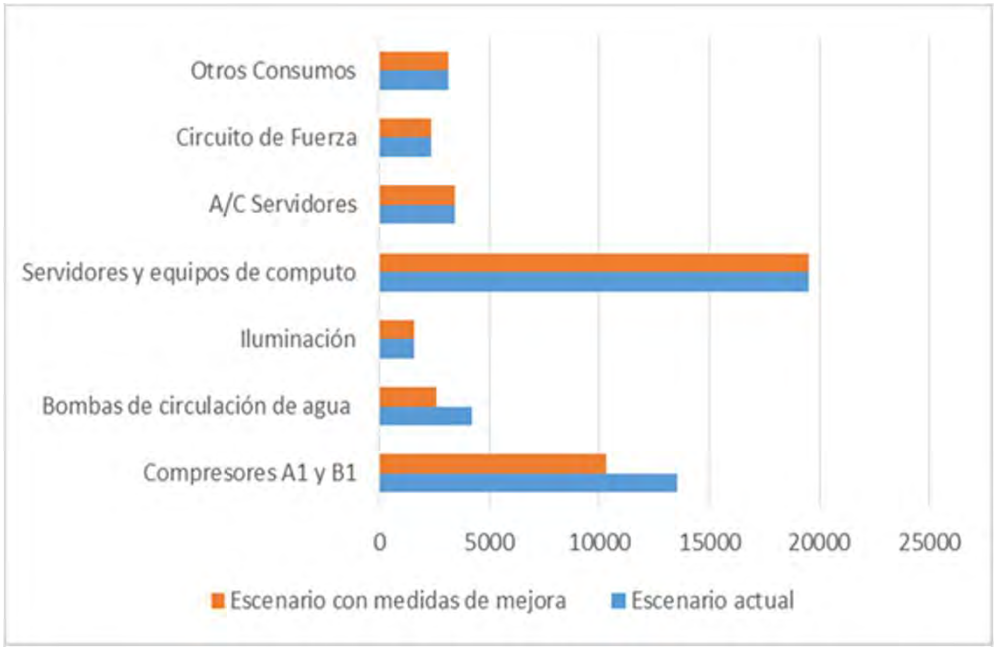
# Medidas de ahorro propuestas

Durante la inspección se encontró que las bombas de circulación de agua cuentan con variadores de frecuencia pero no están funcionando. A continuación se presenta la estimación de ahorros simulando los siguientes escenarios:

- Escenario a): Compresor A1 y B1 funcionando a plena carga, las dos bombas de circulación inician funcionamiento, consumo estimado 11 KWh.
- Escenario b): Compresor A1 funcionando a baja carga, únicamente debe funcionar una bomba, consumo estimado 5.5 KWh.
- Escenario c): Compresor A1 y B1 apagados, ambas bombas deben apagarse.

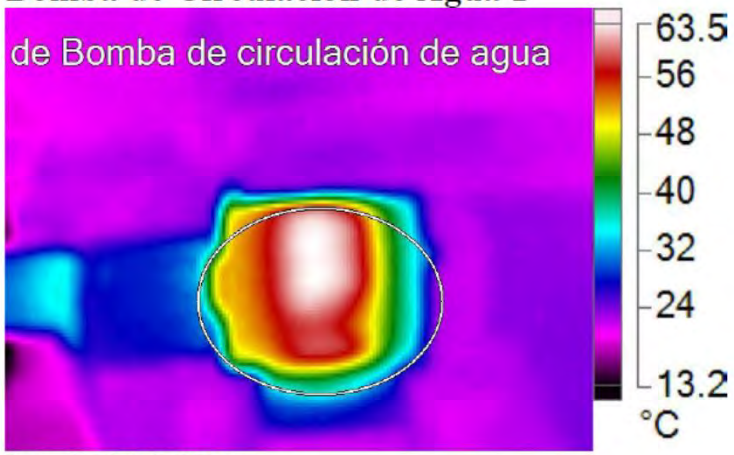
# Medidas de ahorro propuestas

Se estima un ahorro anual de 101.63 MWh, utilizando el precio total de compra del mes de octubre de 125.68 US $ MWh, se estima un ahorro económico de $ 12,772.85 al año. Esta estimación se basa en consumos promedio que son resultado de la medición realizada el 16 de noviembre en el período de 14:40 a 24:00 y 17 de noviembre en el período de 00:00 a 09:00.



# Termografías

**Bomba de Circulación de Agua 1**



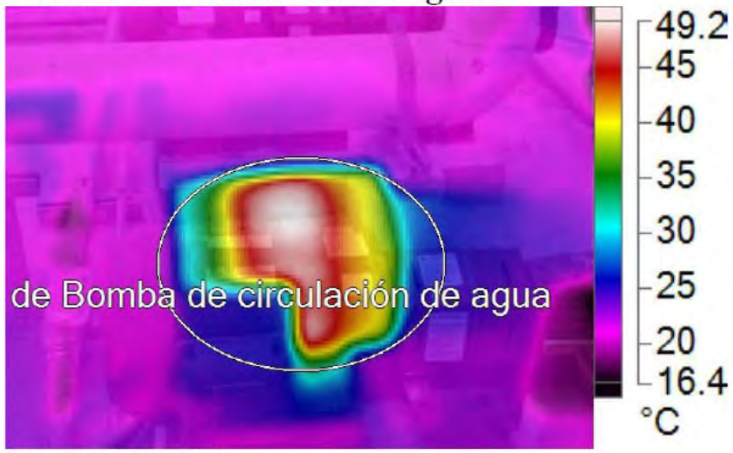

**IR_00303.IS2**

**Visible Light Image**

Se observa una temperatura alta en la carcasa del motor. Es probable que esta temperatura de 64.3°C se deba a que se necesita realizar un cambio en los cojinetes. La termografía se tomó en un día en que la temperatura ambiente se encontraba aproximadamente a 15°C.

# Termografías

**Bomba de circulación de agua 2**




**IR_00306.IS2**

**Visible Light Image**

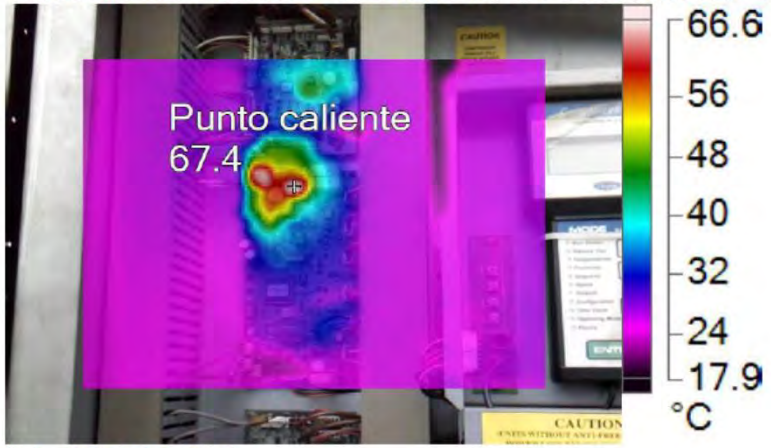
No se observan temperaturas fuera del rango de operación de la bomba. Los datos de placa indican una temperatura ambiente de 40°C, la temperatura máxima que soporta el aislante en este tipo de motores se encuentra en una rango entre 140 a 150 °C.

**Main Image Markers**

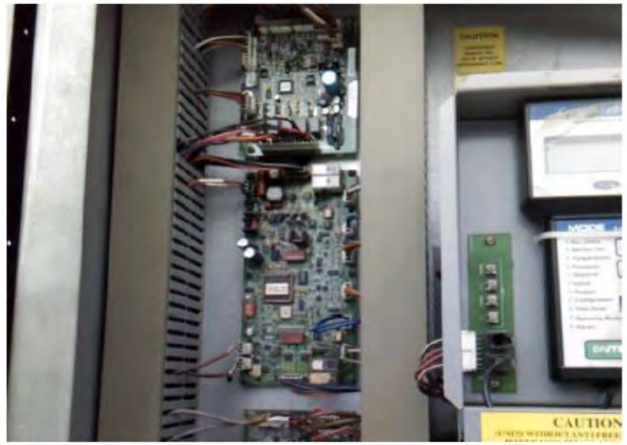
| Name | Avg | Min | Max |
|---|---|---|---|
| Rango de Temperatura de Bomba de circulación de agua | 36.1°C | 21.7°C | 49.7°C |

# Termografías

**Tablero de control de bombas de circulación de agua**




**IR_00308.IS2**

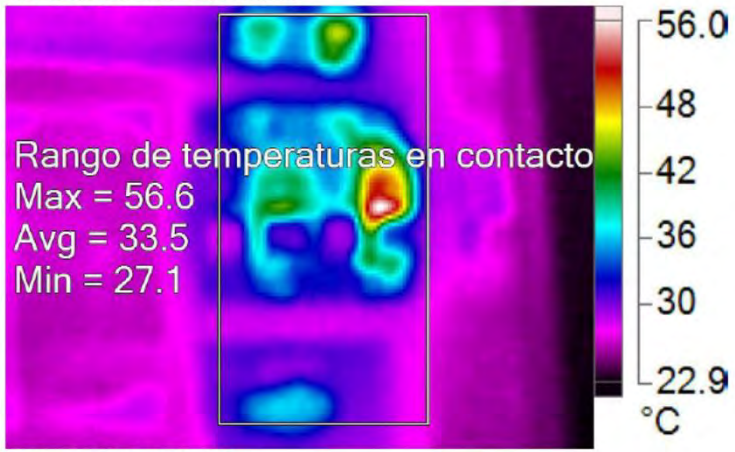


**Visible Light Image**

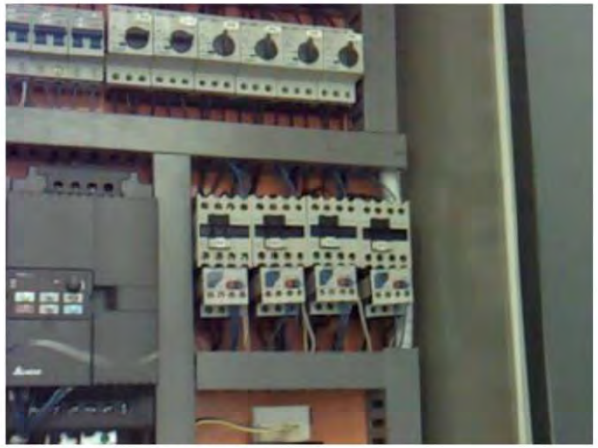
Se observa potencial punto caliente en la tarjeta electrónica ubicada en el tablero de control de las bombas de circulación de agua, temperatura máxima aproximada de 67.4°C. Es probable que el punto caliente se deba a la falta de ventilación forzada en este gabinete de control. La termografía se tomó con una temperatura ambiente aproximada de 15°C.
Se recomienda colocar ventilación forzada para equipo electrónico para evitar una falla en estas tarjetas.

# Termografías

**Tablero de control**




**IR_00312.IS2**

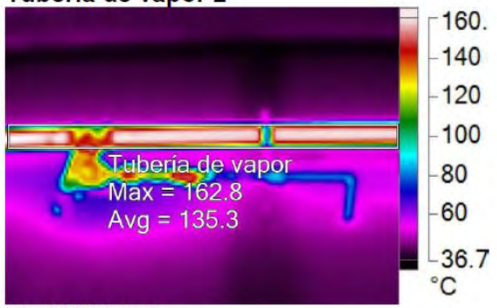


**Visible Light Image**

Se observa potencial punto caliente en las borneras del contactor. Se recomienda revisar aprietes y en caso de continuar con puntos calientes colocar ventilación forzada.

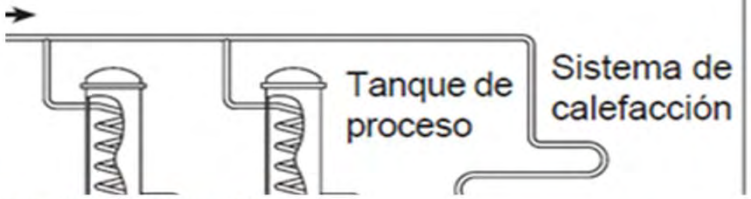
# Ejemplos de otras auditorias Nivel 1

Tubería de vapor 2"

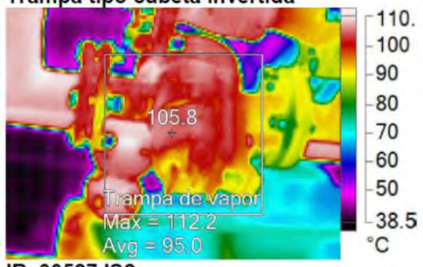



IR_00526.IS2
4/3/2017 4:26:48 PM

Visible Light Image



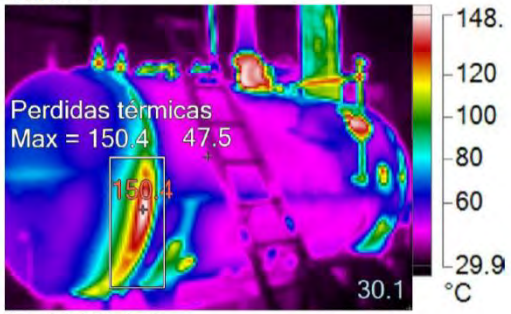

Trampa tipo cubeta invertida




IR_00527.IS2
4/3/2017 4:27:51 PM

Visible Light Image

Caldera

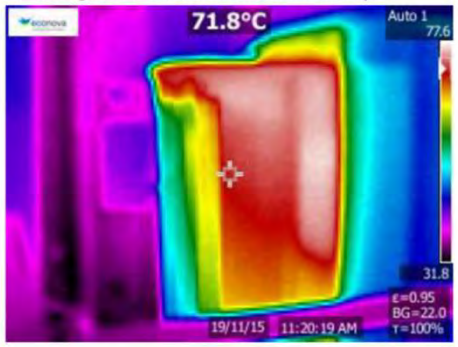


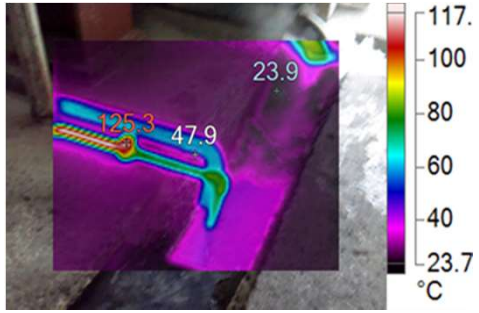

IR_00416.IS2

Visible Light Image

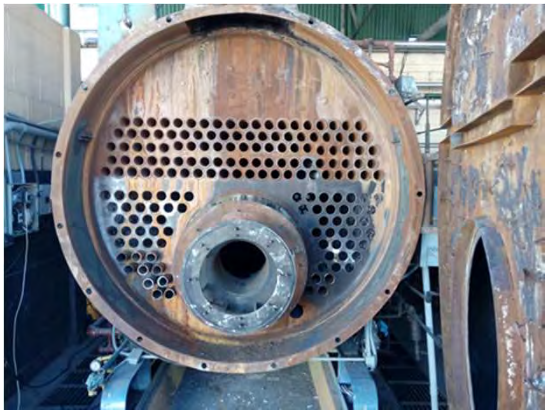
# Ejemplos de otras auditorias Nivel 1

Termografías Transformador Principal





# Ejemplos de otras auditorias Nivel 1



iENER'19

## EXPERIENCIA LABORAL

* **Gerente General**
  ECONOVA S.A. (Actual)

* **Gerente de Servicios Energéticos**
  ECONOVA S.A.

* **Gerente de Marca Schneider Electric**
  Organización Eléctrica Guatemalteca.

* **Jefe de Ingeniería de Planta**
  Vidriera Guatemalteca, S.A. (VIGUA)

* **Asesor Técnico Industrial**
  PRAISA (Vapor, Aislamiento Térmico, Hidráulica, Neumática)

* **Tecnico en Calderas y Bombas de Agua**
  Hotel Conquistador

**Más de 22 años de experiencia en Administración del mantenimiento, Eficiencia Energética, Proyectos, Marketing Industrial y en el área Electromecánica Industrial.**

**Colegiado Activo # 10,167**

## EDUCACION Y CONOCIMIENTOS

* **Doctor of Business Administration**
  Especializado en **Strategic Planning**
  (Atlantic International University - USA)

* **Certified Green Building Engineer # 833**
  Association of Energy Engineers

* **Auditor Interno Certificado en Sistemas Gestión de la Energía según Norma ISO 50,001:2011. Certificación # 19,705**
  Bureau Veritas

* **Certified Energy Manager # 93373**
  Association of Energy Engineers

* **Miembro Fundador**
  Energy Managers Society (U.S.A)

* **Gestor en Eficiencia Energética**
  (GREENPYME - BID)

* **Miembro Internacional**
  Association of Energy Engineers

* **Master en Dirección Estratégica**
  (Universidad Europea del Atlántico - España)

* **Master en Ingeniería de Mantenimiento**
  (Universidad San Carlos - USAC Guatemala)

* **Ingeniero Industrial**
  (Universidad Mariano Galvez - Guatemala)

* **Diplomado en Negoción de Energía**
  (Cámara de la Industria)

* **Diplomado Project Manager**
  (Sequal Solutions – Mexico)

* **Electromecánico Industrial** ( INTECAP)

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

econova
competitividad energética

The Association of Energy Engineers
Spain Chapter

www.aeespain.org

# Auditoría Preliminar o de Nivel I según ASHRAE: Una herramienta poderosa para ahorro de Energía

**José Samuel Monterroso, PhD., M.A., Ing. C.E.M., G.B.E.**
Km. 4.5 Carretera a Chinautla, Condominio Vilas Arcángel casa F-24 Zona 2 monterroso.samuel@gmail.com.

**Resumen:**
La auditoría de nivel 1 de ASHRAE está orientada hacia la identificación del potencial de mejoras energéticas, la comprensión de la configuración general del edificio y la definición del tipo y la naturaleza de los sistemas de energía. La auditoría debe dar como resultado un análisis preliminar, de alto nivel, del uso de energía para toda la instalación, y un breve informe que detalla los hallazgos, que puede incluir la identificación de una variedad de oportunidades de eficiencia reconocibles.

En este caso, se realizó una auditoría de Nivel 1 en un edificio de oficinas de una prestigiosa industria farmacéutica ubicada en la Ciudad de Guatemala. Se estima un ahorro anual de 101.63 MWh, utilizando el costo total de compra US $ 125.68 MWh, un ahorro económico estimado de $ 12,772.85 por año. Esta estimación se basa en el consumo promedio y la medición realizadadurante un día completo.

Palabras clave:
1. *Analizador de redes trifáscias*:Equipo electrónico, utilizado para medir variables electricas tales como voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, energía, flicker, distorsión armónica, entre otros.
2. *ASHRAE*: Sociedad Americana de Ingneieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.
3. *Auditoría energética*: es un enfoque sistemático para la resolución de problemas y la toma de decisiones. Los objetivos principales de una auditoría energética son calificar y cuantificar cómo los sistemas energéticos del edificio están funcionando ahora, cómo se puede mejorar ese desempeño y cuáles serán los resultados de esas mejoras para el Propietario en términos financieros y no financieros
4. Gestión de Cargas: Realizacipon de conservación de la energía y traslado de cargas en horarios en los ccuales las tarifas electricas pueden ser mas baratas o favorables para el consumidor.

## INTRODUCCION

La auditoría de nivel 1 de ASHRAE está orientada hacia la identificación del potencial de mejoras energéticas, la comprensión de la configuración general del edificio y la definición del tipo y la naturaleza de los sistemas de energía. La auditoría debe dar como resultado un análisis preliminar, de alto nivel, del uso de energía para toda la instalación, y un breve informe que detalla los hallazgos, que puede incluir la identificación de una variedad de oportunidades de eficiencia reconocibles.

La auditoría de nivel 1 de ASHRAE está destinada a ayudar al equipo de energía a comprender dónde se desempeña el edificio en relación con sus pares; establecer una línea de base para medir mejoras; decidir si es necesaria una evaluación adicional; y si es así, dónde y cómo enfocar ese esfuerzo.

En este caso, srealizó una auditoría de Nivel 1 en un edificio de oficinas de una prestigiosa industria farmacéutica ubicada en la Ciudad de Guatemala. Se estima un ahorro anual de 101.63 MWh, utilizando el costo total de compra US $ 125.68 MWh, un ahorro económico estimado de $ 12,772.85 por año. Esta estimación se basa en el consumo promedio y la medición realizadadurante un día completo.

## TRABAJO DE CAMPO REALIZADO

El informe contiene las observaciones y recomendaciones de la Auditoría Preliminar realizada en las instalaciones de Bayer en el área de oficinas administrativas. El recorrido realizado para identificar oportunidades de mejora y riesgos potenciales se llevó a cabo en la Subestación Eléctrica, donde se realizó termografía del Transformador Principal de 500 KVA (13.8/0.48 KV), Transformador SIEMENS 225 KVA (480/208Y-120 V); se realizó termografía en el Tablero Principal del Chiller (FLIPON 300 A), Compresor B1 45 KW, Compresor A1 67 KW, 2 Bombas de circulación de agua de 5.5 KW cada una y tablero de control de bombas. Se realizó inspección visual de los tableros de distribución en el área de oficinas.

Se instaló el analizador de redes trifásicas (DRANETZ) los días 16 de noviembre en el período de 14:40 a 24:00 y 17 de noviembre en el período de 00:00 a 09:00 para monitorear el consumo y la calidad de energía de los Chiller, el cual representa el mayor consumo de energía eléctrica durante el día.

## MEDICION Y ESTIMACION DE CARGAS

El análisis presentado a continuación consiste en una estimación del consumo de las principales cargas de las oficinas de Bayer. Se realiza un apilamiento de cargas en el cual se representa el consumo total con una gráfica de área y superpone el consumo de los compresores A1 y B1.

El consumo de ambos compresores *(gráfica de área en color gris)* es una medición real realizada con el DRANETZ en intervalos de 30 segundos y el consumo total *(gráfica de área en color celeste)* se obtiene de la plataforma PrimeWeb en períodos cuarto-horarios. Se realizó una estimación de consumos de otras cargas como son: las bombas de circulación de agua *(gráfica de línea en color verde)*, circuito de iluminación *(gráfica de línea color amarillo)*, circuito de fuerza *(gráfica de línea color rojo)*, servidores y equipo de cómputo *(gráfica de línea color negro)*, aire acondicionado de servidores *(gráfica de línea color gris)* y otros consumos *(gráfica de línea color naranja).*

En la gráfica se observa que el periodo de funcionamiento de los compresores es de 05:30 a 18:00 y las secuencias de arranque y paro de los mismos. Las bombas de circulación de agua consumen

energía eléctrica en forma constante ya que los variadores de frecuencia no se encuentran funcionando. Se considera que la carga base de 27 KWh corresponde a los servidores y equipo de cómputo, la iluminación representa un consumo aproximado de 4% durante la noche y 3% durante el día; mientras que los circuitos de fuerza representan un 5% del consumo total en un día típico. El resto de consumos corresponde al aire acondicionado que climatiza el área de servidores y otros consumos que se presentan en las instalaciones.

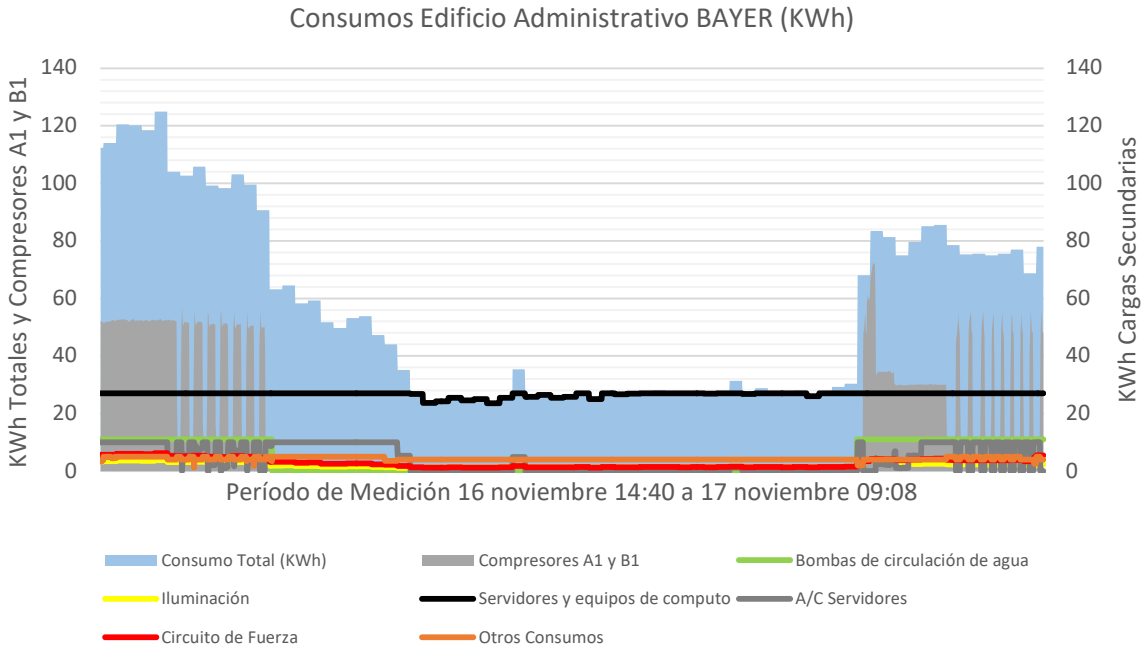



**Figura 1.** *Consumos del edificio de un día típico y apilamiento de cargas*

## DISTRIBUCION DE CONSUMOS DIRNOS Y NOCTURNOS

Los principales consumos durante el ***horario laboral (08:00 a 17:00)*** se encuentran distribuidos en los compresores A1 y B1, servidores y equipo de cómputo. Durante el día el ***consumo total del sistema de aire acondicionado*** que es utilizado en el área de oficinas ***representa aproximadamente el 50% del total***, incluyendo los compresores y las bombas de circulación de agua. Durante el horario no laboral se observa que el consumo principal corresponde a los servidores y equipos de cómputo.

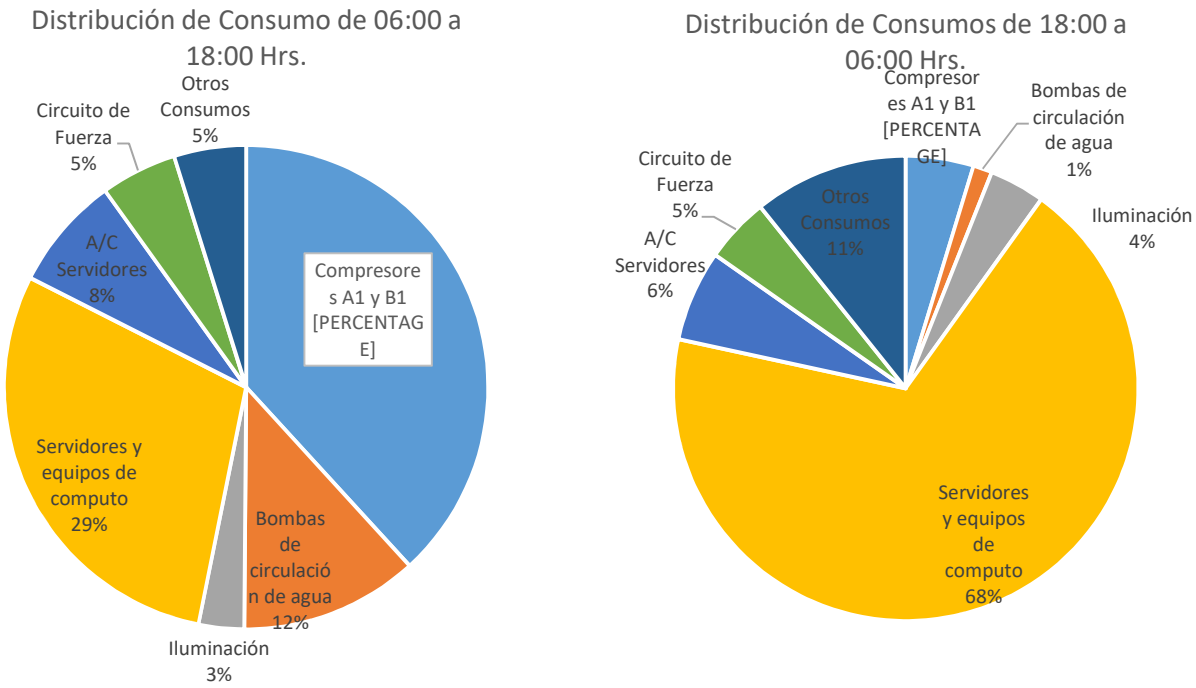



**Figura 2.** *Distribución de consumos dependiendo los horarios*

**Tabla I**

| Sistema | Consumo medio en horario laboral (KWh) | Consumo medio en horario no laboral (KWh) |
|---|---|---|
| Compresores A1 y B1 | 35.21 | 1.82 |
| Bombas de circulación de agua | 11.00 | 0.51 |
| Iluminación | 2.79 | 1.50 |
| Servidores y equipos de computo | 27.00 | 26.48 |
| A/C Servidores | 7.03 | 2.45 |
| Circuito de Fuerza | 4.70 | 1.75 |
| Otros Consumos | 4.44 | 4.15 |
| **Consumo promedio total** | **92.17** | **38.66** |

## ESTIMACION DE AHORROS

Se recomienda ajustar la programación del tiempo de funcionamiento de los compresores A1 y B1, reduciendo el tiempo de operación durante horario laboral. Actualmente de lunes a viernes el Chiller inicia su funcionamiento a las 05:30 y se apaga a las 18:00, por lo cual se recomienda reducir el tiempo de funcionamiento y reprogramar su operación iniciando a las 06:30 y que se apague a las 17:00.

Durante la inspección se encontró que las bombas de circulación de agua cuentan con *variadores de frecuencia pero no están funcionando.* A continuación se presenta la estimación de ahorros simulando los siguientes escenarios:

- **Escenario A:** Compresor A1 y B1 funcionando a plena carga, las dos bombas de circulación inician funcionamiento, consumo estimado 11 KWh.
- **Escenario B:** Compresor A1 funcionando a baja carga, únicamente debe funcionar una bomba, consumo estimado 5.5 KWh.
- **Escenario C:** Compresor A1 y B1 apagados, ambas bombas deben apagarse.

**Figura 3.** *Variadores de frecuencia de bombas de recirculación de agua helada- sin funcionar*

En las gráficas mostradas a continuación se representa la estimación promedio de ahorro en KWh si se realizan las recomendaciones de ajuste de horario de funcionamiento del Chiller y conectando los variadores de frecuencia de las bombas de circulación de agua. *Se estima una reducción de 2% en el consumo de los compresores A1 y B1 en horario laboral y una reducción de 4% en el consumo de las bombas de circulación funcionando con los Variadores de Frecuencia*.
Se estima un ahorro anual de 101.63 MWh, utilizando el precio total de compra del mes de octubre de 125.68 US $ MWh, se estima un ahorro económico de $ 12,772.85 al año. Esta estimación se basa en consumos promedio que son resultado de la medición realizada el 16 de noviembre en el período de 14:40 a 24:00 y 17 de noviembre en el período de 00:00 a 09:00.

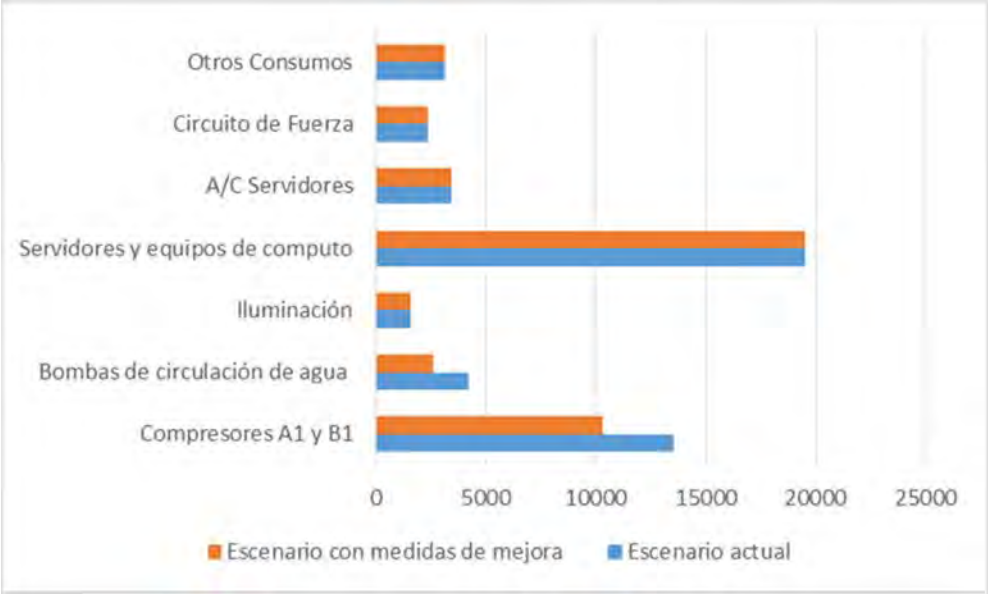



**Figura 4.** *Estimación de ahorro anual en KWh*

## TERMOGRAFIA

### Bomba de Circulación de agua

Se observa una temperatura alta en la carcasa del motor. Es probable que esta *temperatura de 64.3°C* se deba a que se necesita realizar un cambio en los cojinetes. La termografía se tomó en un día en que la temperatura ambiente se encontraba aproximadamente a 15°C.

Los datos de placa indican una temperatura ambiente de 40°C, la temperatura máxima que soporta el aislante en este tipo de motores se encuentra en una rango entre 140 a 150 °C.
Se recomienda realizar *cambio de cojinetes en el mantenimiento del motor* ya que el calor se transfiere a los devanados *(Ver anexos).*

**Figura 5.** *Bomba de circulación de agua helada*

**Punto caliente en tarjeta electrónica.**
Se observa potencial punto caliente en la tarjeta electrónica ubicada en el tablero de control de las bombas de circulación de agua, *temperatura máxima aproximada de 67.4°C.* Es probable que el punto caliente se deba a la falta de ventilación forzada en este gabinete de control. La termografía se tomó con una temperatura ambiente aproximada de 15°C. Se recomienda colocar ventilación forzada para equipo electrónico para evitar una falla en estas tarjetas *(Ver anexos).*

**Calentamiento en bobinas y circuito magnético de transformador SIEMENS de 225 KVA**
Se observa calentamiento en las bobinas y circuito magnético del transformador SIEMENS de 225 KVA, se registra una *temperatura aproximada de 145°C en el punto más caliente*. Los estándares internacionales recomiendan que la temperatura máxima del punto más caliente durante sobrecargas del transformador se establece para las bobinas en 150 °C y en ningún caso debe sobrepasar 190 °C.

Se recomienda *colocar ventilación con capacidad de impulsar el aire caliente hacia lo alto del local*; para ello, la entrada de aire frío debe situarse lo más bajo posible y la salida del aire caliente lo más alto posible y sobre el muro opuesto. Los efectos térmicos, ligados al sobrecalentamiento de los transformadores, cualquiera que sea su origen, son determinantes en cuanto al funcionamiento y a la duración de vida del material.

Los efectos térmicos, ligados al sobrecalentamiento de los transformadores, cualquiera que sea su origen, son determinantes en cuanto al funcionamiento y a la duración de vida del material. Es necesario tenerlos en cuenta en el momento de la fabricación del transformador y sobre todo no olvidar las soluciones siguientes:

- Distribución apropiada del local donde se ubica el transformador (altura, espacio libre alrededor del transformador, dimensionamiento óptimo de aberturas de ventilación).
- La puesta en marcha de un plan de monitoreo permanente de la temperatura de los bobinados y asegurar el correcto funcionamiento de los dispositivos de protección una vez se alcanzan las temperaturas máximas.

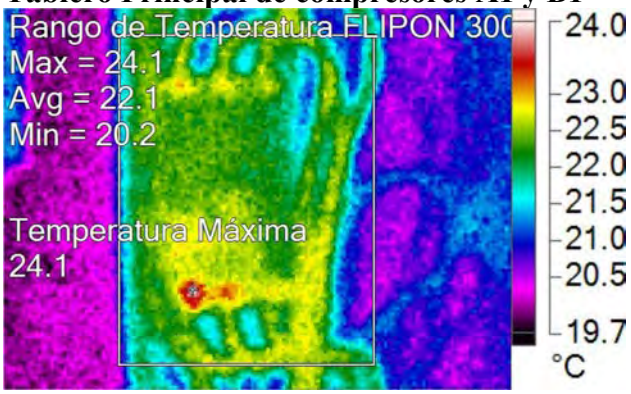
- La instalación de ventiladores, definidos por el fabricante y adaptados al transformador, atenúan los efectos de las sobrecargas eventuales, permitiendo determinadas sobrecargas.

**Figura 6.** *Bobinas del trasformador seco de 225 KVA*

**ANEXOS**

Termografía

**Tablero Principal de compresores A1 y B1**




**IR_00300.IS2**

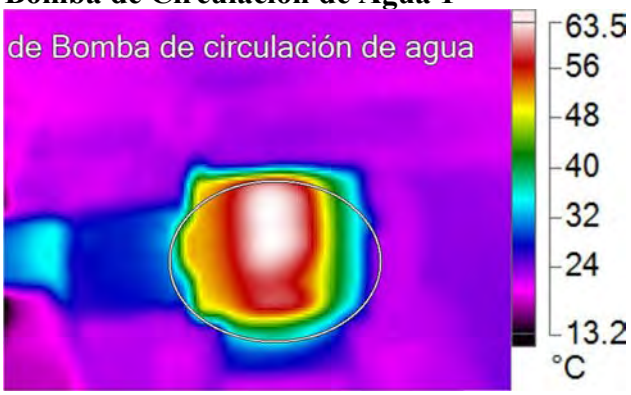
**Visible Light Image**

No se observan temperaturas fuera del rango de operación normal del interruptor termomagnético de 300 Amperios.

**Main Image Markers**

| Name | Avg | Min | Max |
|---|---|---|---|
| Rango de Temperatura FLIPON 300 A | 22.1°C | 20.2°C | 24.1°C |

**Bomba de Circulación de Agua 1**




IR_00303.IS2

Visible Light Image

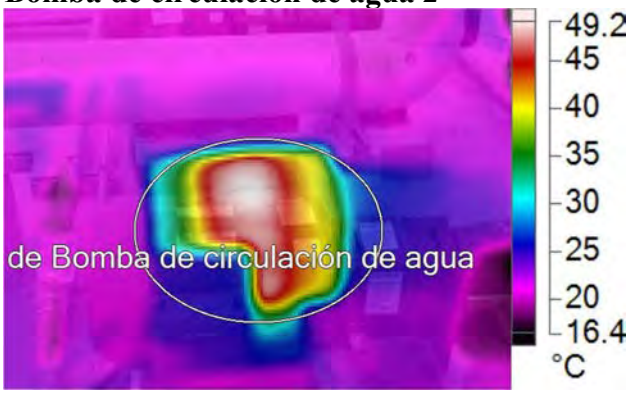
Se observa una temperatura alta en la carcasa del motor. Es probable que esta temperatura de 64.3°C se deba a que se necesita realizar un cambio en los cojinetes. La termografía se tomó en un día en que la temperatura ambiente se encontraba aproximadamente a 15°C.

Los datos de placa indican una temperatura ambiente de 40°C, la temperatura máxima que soporta el aislante en este tipo de motores se encuentra en una rango entre 140 a 150 °C.Se recomienda realizar cambio de cojinetes en el mantenimiento del motor ya que el calor se transfiere a los devanados.

**Main Image Markers**

| Name | Avg | Min | Max |
|---|---|---|---|
| Rango de Temperatura de Bomba de circulación de agua | 49.9°C | 22.3°C | 64.3°C |

**Bomba de circulación de agua 2**




IR_00306.IS2

Visible Light Image

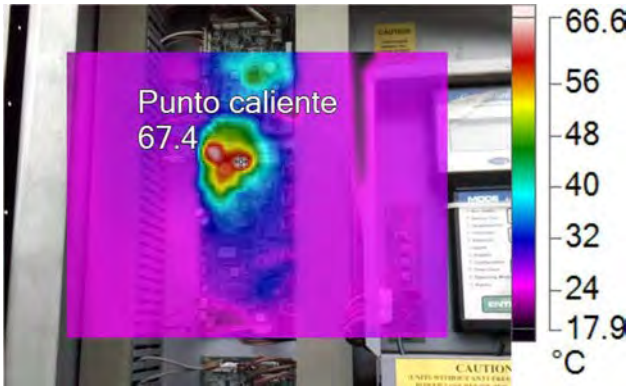
No se observan temperaturas fuera del rango de operación de la bomba. Los datos de placa indican una temperatura ambiente de 40°C, la temperatura máxima que soporta el aislante en este tipo de motores se encuentra en una rango entre 140 a 150 °C.

**Main Image Markers**

| Name | Avg | Min | Max |
|---|---|---|---|

| | | | |
|---|---|---|---|
| Rango de Temperatura de Bomba de circulación de agua | 36.1°C | 21.7°C | 49.7°C |

**Tablero de control de bombas de circulación de agua**




**IR_00308.IS2**

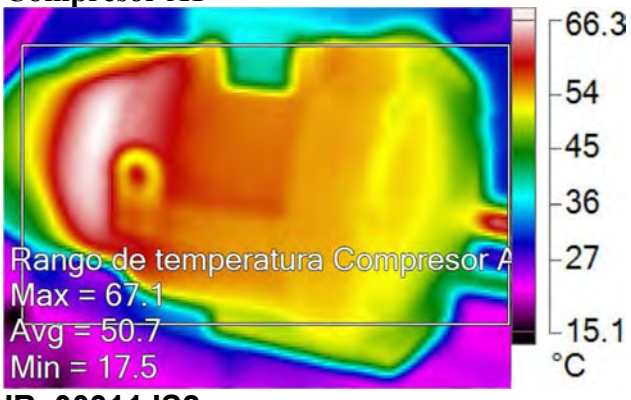
**Visible Light Image**

Se observa potencial punto caliente en la tarjeta electrónica ubicada en el tablero de control de las bombas de circulación de agua, temperatura máxima aproximada de 67.4°C. Es probable que el punto caliente se deba a la falta de ventilación forzada en este gabinete de control. La termografía se tomó con una temperatura ambiente aproximada de 15°C.
Se recomienda colocar ventilación forzada para equipo electrónico para evitar una falla en estas tarjetas.

**Main Image Markers**

| Name | Temperature |
|---|---|
| Punto caliente | 67.4°C |

**Compresor A1**




**IR_00311.IS2**

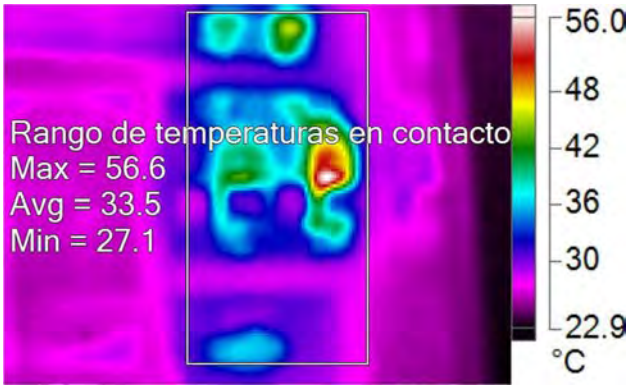
**Visible Light Image**

No se observan temperaturas fuera del rango de operación del compresor A1. La temperatura máxima que soporta el aislante en este tipo de motores se encuentra en una rango entre 140 a 150 °C.

**Main Image Markers**

| Name | Avg | Min | Max |
|---|---|---|---|
| Rango de temperatura Compresor A1 | 50.7°C | 17.5°C | 67.1°C |

**Tablero de control**




**IR_00312.IS2**

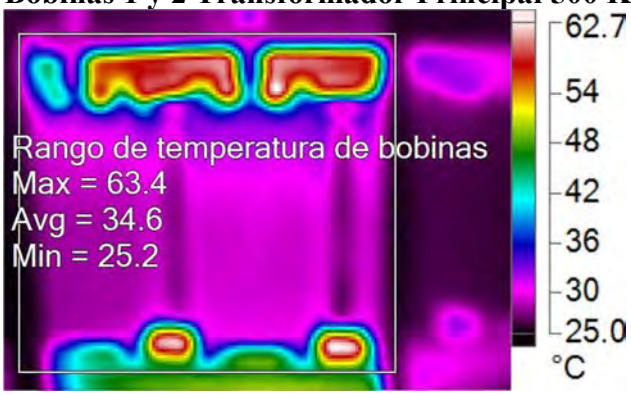
**Visible Light Image**

Se observa potencial punto caliente en las borneras del contactor. Se recomienda revisar aprietes y en caso de continuar con puntos calientes colocar ventilación forzada.

### Main Image Markers

| Name | Avg | Min | Max |
|---|---|---|---|
| Rango de temperaturas en contactores | 33.5°C | 27.1°C | 56.6°C |

**Bobinas 1 y 2 Transformador Principal 500 KVA**




**IR_00315.IS2**

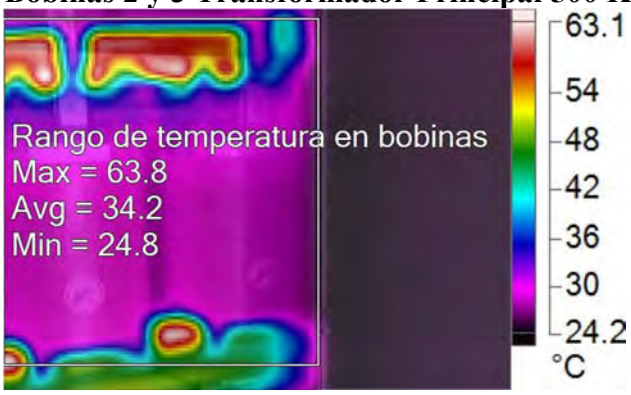
**Visible Light Image**

No se observan temperaturas fuera del rango de operación normal del transformador. La temperatura máxima del punto más caliente durante sobrecargas del transformador se establece para las bobinas en 150 °C y en ningún caso debe sobrepasar 190 °C.

**Main Image Markers**

| Name | Avg | Min | Max |
|---|---|---|---|
| Rango de temperatura de bobinas | 34.6°C | 25.2°C | 63.4°C |

**Bobinas 2 y 3 Transformador Principal 500 KVA**




**IR_00316.IS2**

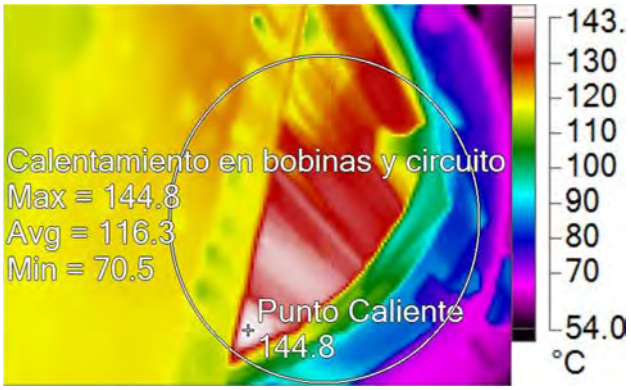
**Visible Light Image**

No se observan temperaturas fuera del rango de operación normal del transformador. La temperatura máxima del punto más caliente durante sobrecargas del transformador se establece para las bobinas en 150 °C y en ningún caso debe sobrepasar 190 °C.

**Main Image Markers**

| Name | Avg | Min | Max |
|---|---|---|---|
| Rango de temperatura en bobinas | 34.2°C | 24.8°C | 63.8°C |

**Bobinas de Transformador SIEMENS 225 KVA**




**IR_00322.IS2**

Se observa calentamiento en las bobinas y circuito magnético del transformador SIEMENS de 225 KVA. Los estándares internacionales recomiendan que la temperatura máxima del punto más caliente durante sobrecargas del transformador se establece para las bobinas en 150 °C y en ningún caso debe sobrepasar 190 °C.

Se recomienda colocar ventilación con capacidad de impulsar el aire caliente hacia lo alto del local; para ello, la entrada de aire frío debe situarse lo más bajo posible y la salida del aire caliente lo más alto posible y sobre el muro opuesto. Los efectos térmicos, ligados al sobrecalentamiento de los transformadores, cualquiera que sea su origen, son determinantes en cuanto al funcionamiento y a la duración de vida del material.

## Main Image Markers

| Name | Avg | Min | Max |
|---|---|---|---|
| Calentamiento en bobinas y circuito magnético | 116.3°C | 70.5°C | 144.8°C |

**AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme sabiduría y la oportunidad de poder presentar este trabajo
A Mi esposa Astrid y mi hija Zully por la paciencia y apoyo.
A mis colegas, compañeros y colaboradores
Y por supuesto al comité organizador del congreso por permitirme compartir mis experiencias y aprender de los demás participantes.

**REFERENCIAS**

CAPEHART Barney L., TURNEY Wayne C., KENEDY William J.(2012) Guide to Energy Management (7th Edition). Fairmont Press Inc. USA.

DOTY Steven, TURNEY Wayne C. (2013) Energy Management Handbook (8th Edition) Fairmont Press Inc. USA.

Organización Internacional de Normalización (ISO). ISO 50001: 2011 Sistemas de Gestión de la Energía – Requisitos con Orientación para su apoyo. Ginebra, 2011.

ROSALER, Robert "Manual de Mantenimiento Industrial Tomo I y V". Editorial Mc Graw Hill. Cuarta Edición. México 1995.

THUMANN Albert. "Handbook of Energy Audits" 2nd Edition 1993.

TURNER Wayne C., MIZE Joe H., CASE Kenneth E. Introduction To Industrial And Systems Engineering. 3rd Edition Prentice-Hall 1992

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

12:15 - 14:15

**SESIÓN 5 Track B. INDUSTRIA 4.0 y BIG DATA**
Modera: Antonio Miranda

"Sistema experto para evaluación digital e inteligente de la eficiencia energética industrial" **Andrés Lluna Arriaga.** Resp. Industria y Eficiencia Energética **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ENERGÍA**

"Las redes de iluminación: la nueva herramienta de gestión para la industria 4.0" **Gabriel Butler Monterde**. CEO Grupo Geniadabar SL. **GENIA GLOBAL ENERGY**

"Auditoría Preliminar o de nivel I según ASHRAE: una herramienta poderosa para ahorro de Energía" **José Samuel Monterroso. Gerente. ECONOVA**

"Proyecto Smart Campus en la Universidad Rey Juan Carlos: implantación de la metodología BIM y tecnologías IoT para la gestión eficiente de los activos inmobiliarios". Javier Orellana. Gestor Energético Unefe. **José Miguel Luna.** Resp Desarrollo Producto. **UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS (URJC).**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# PROYECTO SMART CAMPUS EN LA UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS: IMPLANTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM Y TECNOLOGÍAS IOT PARA LA GESTIÓN EFICIENTE DE LOS ACTIVOS INMOBILIARIOS

Javier Orellana Sanz
José Miguel Luna López

Universidad Rey Juan Carlos | Unidad de Eficiencia Energética
grupo enerdex
aee The Association of Energy Engineers Spain Chapter
www.aeespain.org

# Índice


1 CONTEXTO

2 SMART CAMPUS – OBJETIVO DEL PROYECTO

3 EL PROCESO SEGUIDO

4 METODOLOGÍA

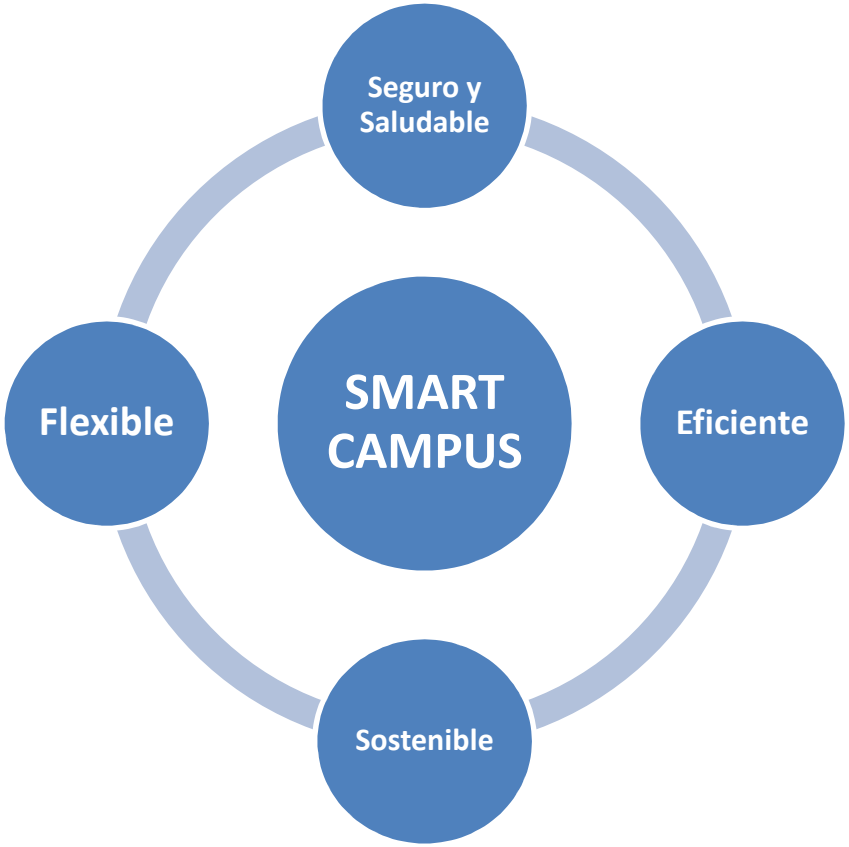
5 RESULTADOS

6 CONCLUSIONES – LECCIONES APRENDIDAS

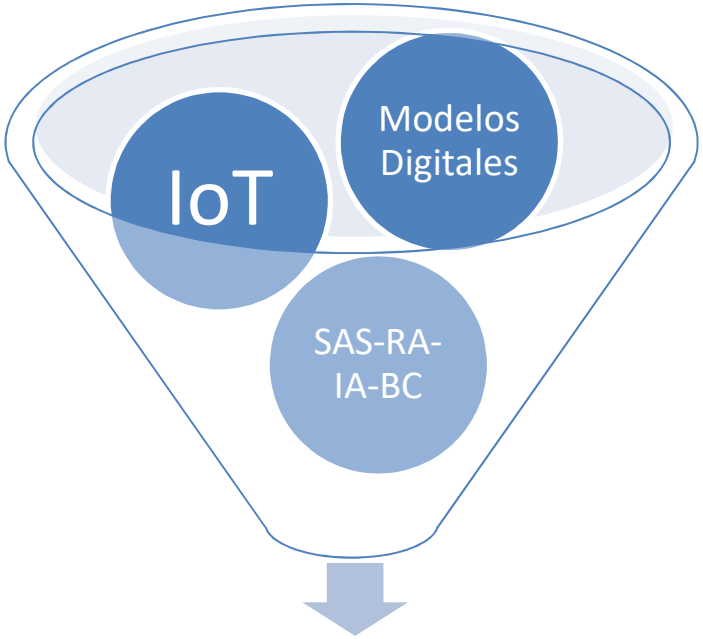
# CONTEXTO

- **50 Edificios**: Aularios, Laboratorios, Departamentales, Bibliotecas, Administrativos, Comedores, Clínica, Animalario, Técnicos, urbanización, …
- **320.000 m2** construidos
- **50.000 personas** diarias
- **SGE – ISO 50001** desde 2014

# SMART CAMPUS



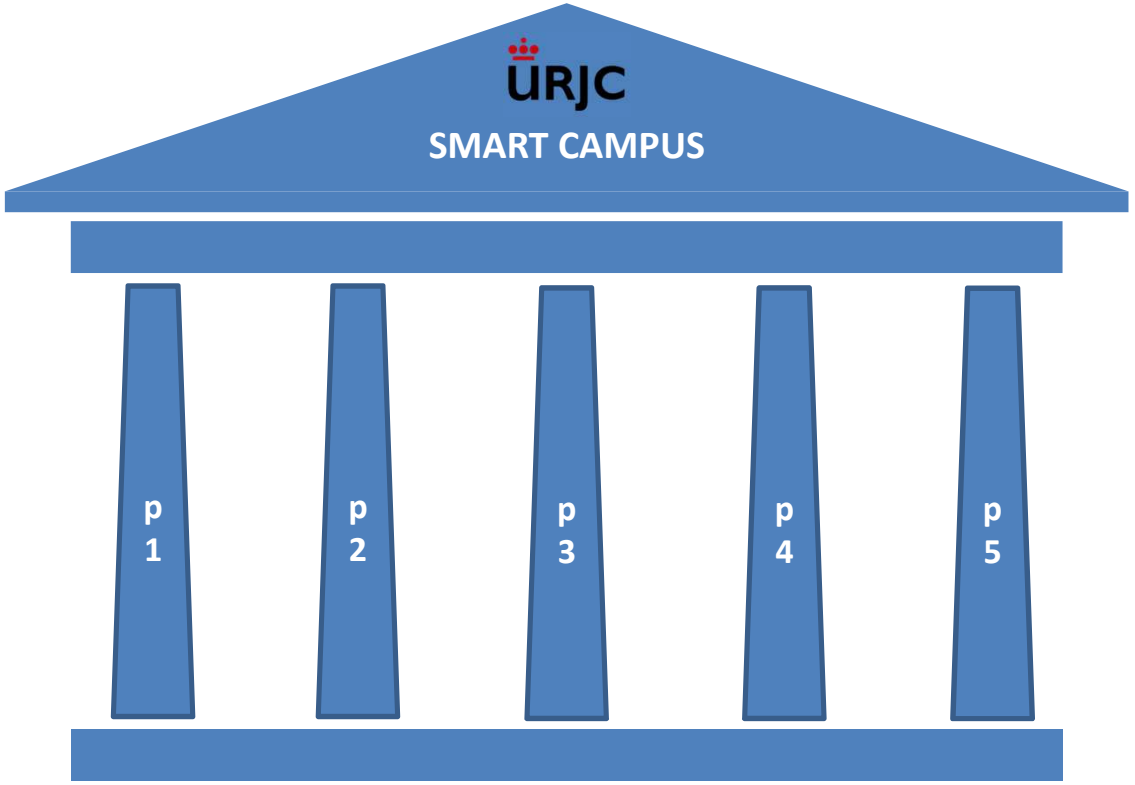

**Transformación Digital 4.0**
**&**
**Eficiencia Energética 2.0**



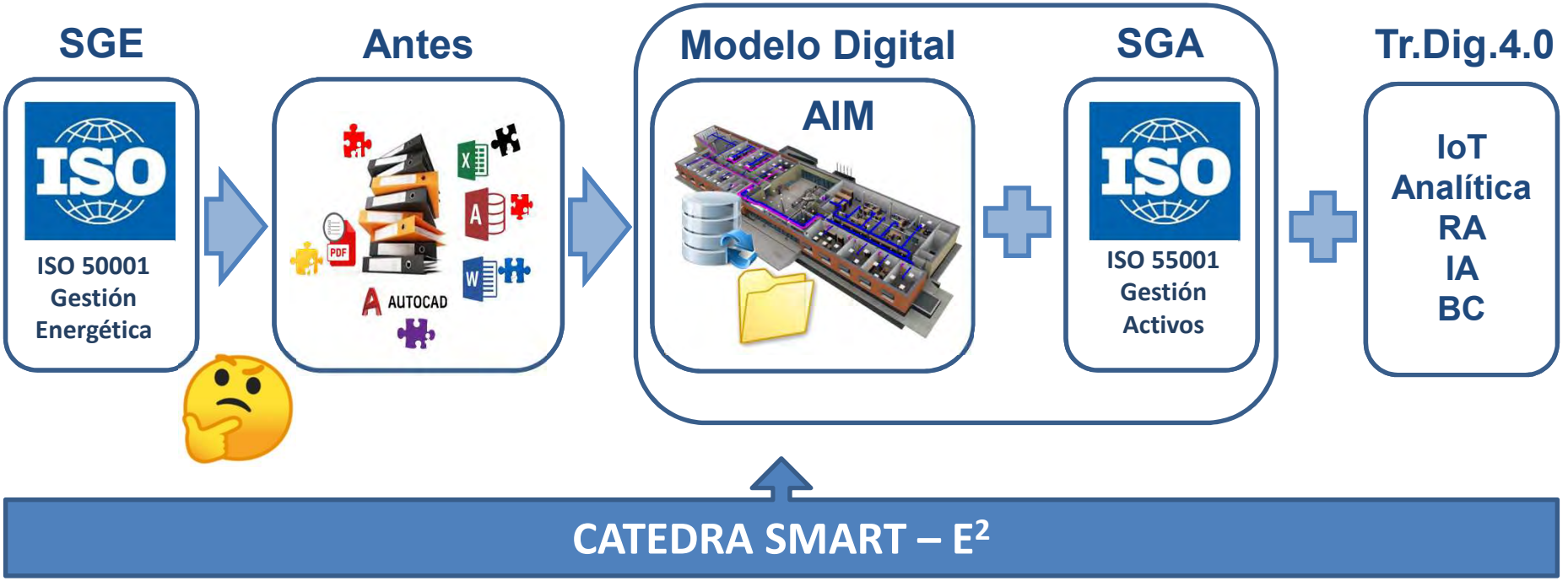

**Tecnología - Analítica**

# OBJETIVO DEL PROYECTO

| | |
|---|---|
| P 1 | Digitalización de los Edificios Existentes con metodología BIM orientado a la explotación eficiente de los activos |
| P 2 | Dispositivos IoT para la modelización de los edificios |
| P 3 | Análisis de los datos con técnicas de Big Data |
| P 4 | Visualización avanzada e interacción con las instalaciones – RA e IA |
| P 5 | Soporte con Normas ISO50001 – ISO55001 |



# PROCESO


SGE
ISO 50001
Gestión
Energética
Antes
AUTOCAD
Modelo Digital
AIM
SGA
ISO 55001
Gestión
Activos
Tr.Dig.4.0
IoT
Analítica
RA
IA
BC
CATEDRA SMART – E²

# FASES DEL PROYECTO

**FASE 1**

- Elección de un Edificio Administrativo (Gestión Móstoles)
- Análisis de la información existente: inventarios, planos ,…
- Escaneado laser y trabajo de campo
- Modelo Digital gemelo del real AIM (*Asset Information Model)*

Objetivo: Conocer el estado de la información disponible de los activos y definir la metodología para crear un AIM

**FASE 2**

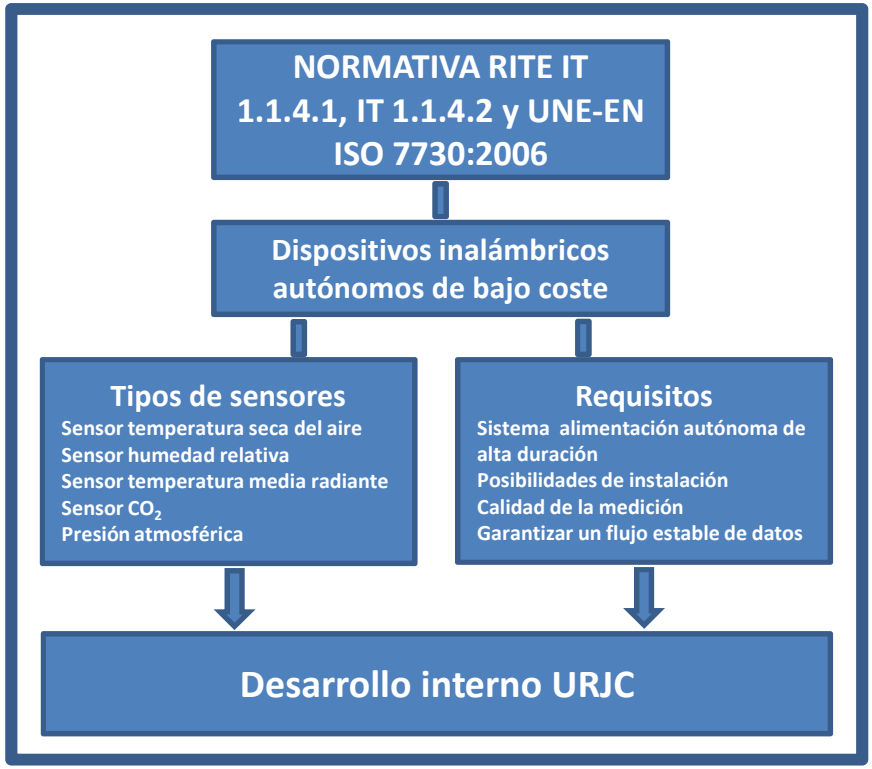
- Elección de un Edificio Aulario (Aulario 1 Fuenlabrada)
- Fase 1 + Incorporación dispositivos IoT relacionados con el confort ambiental
- Análisis de los datos registrados
- Desarrollo de interfaces gráficos específicos para cada tipo de usuario

Objetivo: Analizar los parámetros vinculados con la calidad ambiental y el comportamiento del usuario

# METODOLOGÍA

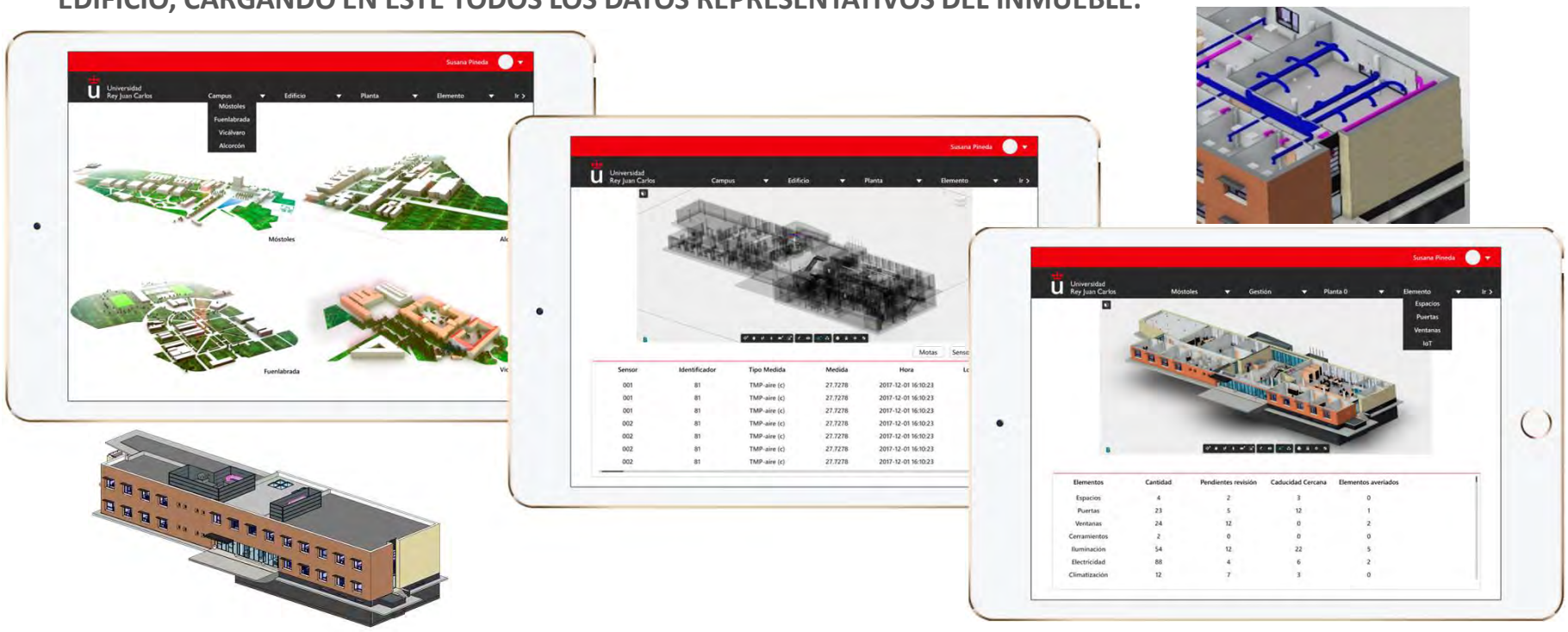
## Modelo Digital

## IoT



# INTERFACE DESARROLLADO

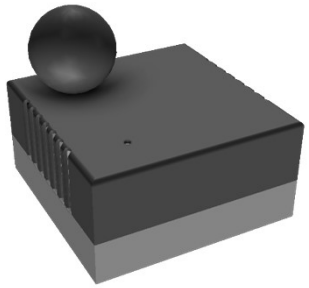
**CREACIÓN DE UN "CONTENEDOR DIGITAL 3D DE INFORMACIÓN" GEMELO VIRTUAL DE SU HOMOLOGO FÍSICO DEL EDIFICIO, CARGANDO EN ESTE TODOS LOS DATOS REPRESENTATIVOS DEL INMUEBLE.**

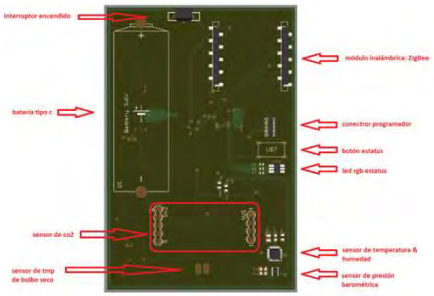


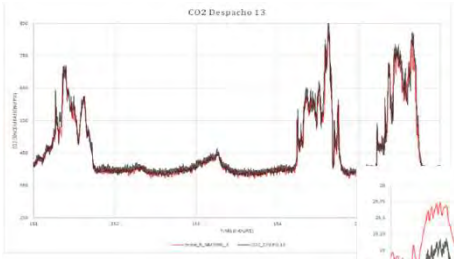
## II Congreso Internacional Ingeniería Energética

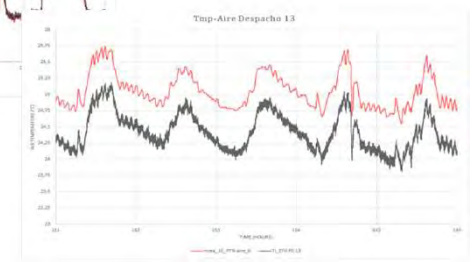
# TECNOLOGÍA IoT DESARROLLADA

- **Fuente de alimentación**: Baterías Li-ion 3,7V de 9800mAh.
- **Sensores de temperatura ambiental y humedad relativa**: Sensor de circuito integrado CMOS con convertidor analógico-digital, procesador de señal e interfaz de comunicación basado en el protocolo I2C, SPI, UART.
- **Sensor $CO_2$**: tecnología NDIR (infrarrojo no dispersivo) de bajo consumo con microprocesador e interfaz de comunicación UART.
- **Sensor temperatura operativa**: temperatura media radiante (TMR) con un dispositivo de bajo coste.
- **Sensor presión atmosférica**: Sensor con tecnología piezo-resistiva de alta precisión y protocolo I2C.
- **Electrónica de transmisión**: de desarrollo interno con conectividad Zigbee 802.15.4 2.4GHz/960 MHz.





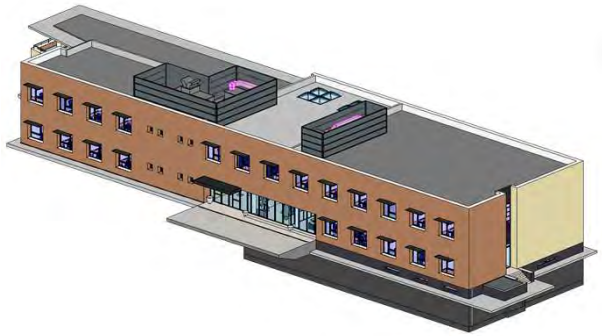

**URJC – Área TSC: Teoría de la Señal y Comunicaciones**

# CONCLUSIONES

**Los beneficios han sido múltiples y para todos los servicios de la Universidad:**

**Gestión y Mantenimiento de Instalaciones**

**Certificaciones ISO 50001 – ISO 55001**



**Gestión de Activos**

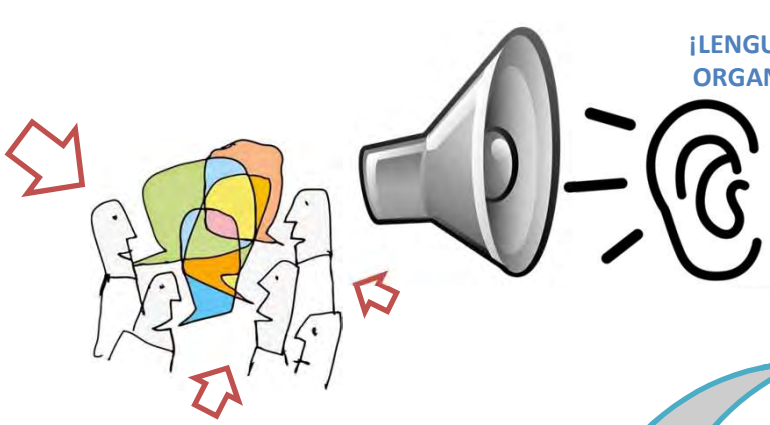
**Gestión de Espacios**

**Eficiencia Energética**

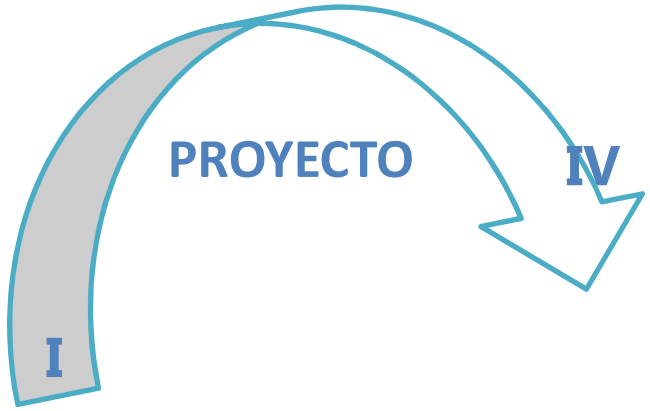
**Docencia**

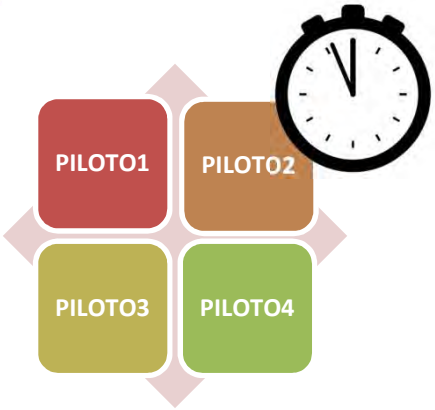
**CÁTEDRA SMART - E2 = SMART CAMPUS + EFICIENCIA ENERGÉTICA 2.0**

# LECCIONES APRENDIDAS



¡LENGUAJE DE LA ORGANIZACIÓN!



# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Universidad Rey Juan Carlos | Unidad de Eficiencia Energética

grupo enerdex

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Proyecto Smart Campus en la Universidad Rey Juan Carlos: implantación de la Metodología BIM y tecnologías IoT para la gestión eficiente de los activos inmobiliarios

**Autor(es) de la comunicación: Javier Orellana Sanz[1], José Miguel Luna López[2]**

1 Dirección de Autor. Universidad Rey Juan Carlos – UNEFE C/ Tulipán S/N Móstoles. Email: javier.orellana@urjc.es
2 Dirección de Autor. Grupo Enerdex C/Velázquez,15 Madrid. Email: jmluna@grupoenerdex.com

**Resumen:** Este proyecto, alineado con el enfoque de otras universidades europeas, pretende ser pionero en España. Llevado a cabo internamente, con la participación de diferentes grados de ciencias e ingeniería y bajo la coordinación de la Unidad de Eficiencia Energética de esta Universidad, desarrolla, a través de 9 proyectos de aplicación, los 5 pilares básicos en los que se fundamenta este Smart Campus: 1 - Digitalización de los edificios existentes con metodología BIM orientado a la explotación de los activos; 2 - Desarrollo e implantación de dispositivos IoT para la modelización de los edificios; 3 - Tratamiento de los datos recogidos con técnicas de Big Data; 4 - Visualización avanzada e interacción con las instalaciones a través de la RA - IA y; 5 - Soporte con las normas ya implantadas, ISO 50001, y en proceso de implantación, ISO 55001.

**Palabras clave:** Smart Campus, BIM, IoT, Modelo Digital, Gestión Activos, ISO 50001, ISO 55001.

## INTRODUCCIÓN

La URJC cuenta con aproximadamente 50 edificios e instalaciones, con una superficie total construida de más de 315.000 m2 que prestan servicio diariamente a más de 50.000 personas.

La implantación y certificación en el año 2014 de la ISO 50001:2011 (Sistemas de Gestión de la Energía) y sus posteriores auditorías, han puesto de manifiesto deficiencias significativas relacionadas con la información gráfica y documental de los activos físicos que podrían afectar a la toma de decisiones críticas sobre su explotación y gestión eficiente. La principal, es su dispersión y falta de homogeneidad, que provoca que no esté siempre actualizada, en la mayoría de los casos no sea intercambiable, esté en múltiples formatos o incluso no exista.

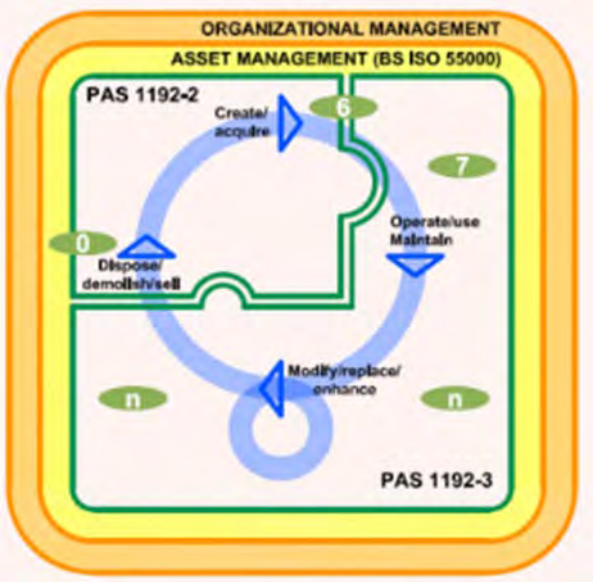



***Figura 1**. relación entre la norma ISO55000 y la PAS 1192-2/3*

Esto llevó a reflexionar sobre la oportunidad de implantar un nuevo sistema certificable y reconocido internacionalmente que permitiera, por una parte, ayudar en la gestión de la ISO 50001 y de otra, realizar una administración más eficiente del conjunto de los activos físicos actuales y futuros de la Universidad. La decisión adoptada fue fundamentarse en un modelo basado en la norma UNE-ISO 55001:2015 Gestión de activos – Requisitos, y las normas británicas PAS 1192 (Figura 1 – procedente de la PAS 1192) [1], por su estrecha relación con la propia ISO 55000 y su convergencia con las futuras normas UNE-ISO 19650 [2], en lo relativo a la utilización de la metodología BIM.

Se busca con todo ello, integrar en modelos digitales toda esa información para conseguir que sea única, fiable, que esté siempre disponible y actualizada y

en un formato abierto e intercambiable con el resto de los sistemas de la organización.

Además de la propia gestión gráfica y documental de los activos, es absolutamente necesario considerar el comportamiento de los ocupantes y su influencia en el funcionamiento de los edificios, y en especial en el sistema de climatización. Uno de los mayores problemas en la gestión de edificios es la falta de información coherente con el parámetro que se desea controlar y en la cantidad suficiente que permita aplicar técnicas de análisis consistentes. Cabe señalar que, en el diseño de un nuevo edificio o instalación, la simulación es una herramienta válida y necesaria, pero en un activo existente, la medición real es el único camino para la gestión eficiente.

Existen varios problemas que impiden explotar eficientemente los edificios en la Universidad. De una parte, la falta de registro histórico de las variables principales que afectan al confort (temperatura operativa, humedad, calidad de aire, etc.) y de otra, la medida de otros parámetros de gran influencia como son la presencia o el aforo entre otros. La incorporación de nuevos elementos de medición y control necesarios para suplir estas carencias a menudo es difícil técnicamente o exigen una elevada inversión derivada de su instalación.

La posibilidad actual de desarrollar sensores y actuadores autónomos de bajo coste, capaces de comunicarse de forma inalámbrica e interactuar entre ellos dentro del ámbito del IoT y la aplicación de tecnologías de la información como BIM, Realidad Aumentada (RA), Inteligencia Artificial (IA) o Blockchain, entre otras, están creando una nueva forma de concebir la gestión y explotación de edificios y la mejora del rendimiento de sus instalaciones.

Desde el punto de vista de la Universidad, estas experiencias están aportando, además de la evidente mejora en el uso de los recursos públicos, una importante actividad docente y formativa, acorde a las necesidades más actuales del mercado, y una transferencia de conocimiento a la sociedad en general.

## PROYECTO PILOTO

Por todo lo expuesto en el punto anterior, en el año 2018 se inicia un proyecto muy ambicioso orientado a conseguir un verdadero Smart Campus, impulsado por la Unidad de Eficiencia Energética (UNEFE) de la Universidad Rey Juan Carlos y por la inminente aprobación de la Cátedra Smart-E2. Este proyecto piloto se dividió en dos grandes fases:

- Fase I: Consistía en realizar un modelo digital de un edificio administrativo utilizando la metodología BIM, incorporando en él la información más importante existente en las bases de datos de activos de la Universidad.

- Fase II: En esta segunda fase se modelaría digitalmente otro edificio, este dedicado a docencia, y se incorporarían dispositivos inalámbricos IoT, diseñados exprofeso, para registrar simultáneamente diversos parámetros vinculados con la calidad ambiental y el comportamiento del usuario. Los datos resultantes se utilizarían para realizar un análisis sobre futuras estrategias de gestión de las instalaciones. En esta fase también se desarrollarían interfaces gráficos específicos para mostrar la información en función del tipo de usuario final de los datos.

**Fase I**

Este proyecto comenzó a mediados del año 2018 y centró su aplicación en el edificio de Gestión del campus de Móstoles, edificio que por su tamaño y uso lo hacía muy adecuado para su implementación.

El edificio de Gestión es un edificio de tres plantas, sótano, baja y primera con una superficie construida de 1.967 m2. Está destinado a servicios administrativos del campus con una zona de atención al público en planta baja y con despachos y salas de reuniones en planta baja y primera.
La información de partida en ese momento consistía en una serie de planos en CAD separados por disciplinas: arquitectura, estructura e instalaciones. A esto habría que añadir el libro del edificio actualizado a fecha de octubre de 2017 y la documentación correspondiente a la certificación energética.

Como vemos es una información habitual, o incluso bastante completa a priori, y apta como punto de partida para su aplicación a un sistema de gestión de activos. A pesar de todo esto, se decidió, como parte de la metodología de trabajo, verificar el contenido de la información, sobre todo la gráfica, para comprobar su exactitud y si el edificio había sufrido variaciones desde el año 2006, fecha de su última actualización. Lo mismo se hizo con la información contenida en el libro del edificio, programa de mantenimiento GMAO, etc.

El resultado de este análisis reflejó que la realidad del edificio, a fecha actual, no se correspondía con la información gráfica de los planos ni con la información disponible de los activos (espacios, instalaciones, mobiliario, etc.), ya que se habían producido diversas modificaciones de implantación que no estaban reflejadas en ellos. Todo ello condujo a relativizar la información gráfica disponible y realizar un trabajo de campo específico para obtener un modelo BIM del edificio.

**Fase II**

En esta segunda fase, iniciada a comienzos de este año 2019, se pretende analizar la capacidad de un edificio para proporcionar el confort térmico requerido normativamente y vincular este resultado a su desempeño energético para, en función de su resultado, estudiar posibles estrategias de optimización. Con este fin se eligió el Aulario I de Fuenlabrada. Un edificio de 7.414 m2 construidos con 16 aulas y 21 laboratorios audiovisuales totalmente equipados.

Esta fase se ha subdividido en dos partes. La primera, el modelado digital del edificio como en el caso del edificio de Móstoles y la segunda en el diseño e implementación de una sensorización específica para el edificio. Dado que la intención es analizar el bienestar térmico, sobre todo de las zonas con mayor ocupación habitual, aulas fundamentalmente, se hizo necesario en primer lugar contar con equipos de captación de datos adecuados al tipo de medición requerida. Dos son los parámetros necesarios para poder modelizar el funcionamiento cotidiano de estos recintos. Por una parte, los parámetros ambientales: Temperatura operativa, humedad relativa y nivel de CO2 definidos por el RITE en sus IT 1.1.4.1, IT 1.1.4.2 y UNE-EN ISO 7730:2006; y por otra, la ocupación real de dichos espacios tanto en número de personas como en tiempo.

Estos dispositivos debían cumplir, además, con una serie de características tanto técnicas como operativas y ser además de bajo coste.

## METODOLOGÍA

Con respecto a la metodología y finalidad de la digitalización de los dos edificios, el objeto último de este proyecto es llegar a un AIM (Asset Information Model) de acuerdo al flujo de información propuesto por la PAS 1192:3, que guarda estrecha relación con la actual ISO 19650, con el fin de servir como elemento integrante del sistema de gestión de activos.

En la Figura 2 (procedente de la PAS 1192) se observa el vínculo entre el Plan Estratégico de Gestión de Activos (PEGA) de la ISO 55001, el OIR (Organizational Information Requirements), y el AIR (Asset Information Requirements) que constituyen entradas al AIM y que definirán a la postre el contenido la estructura del mismo.

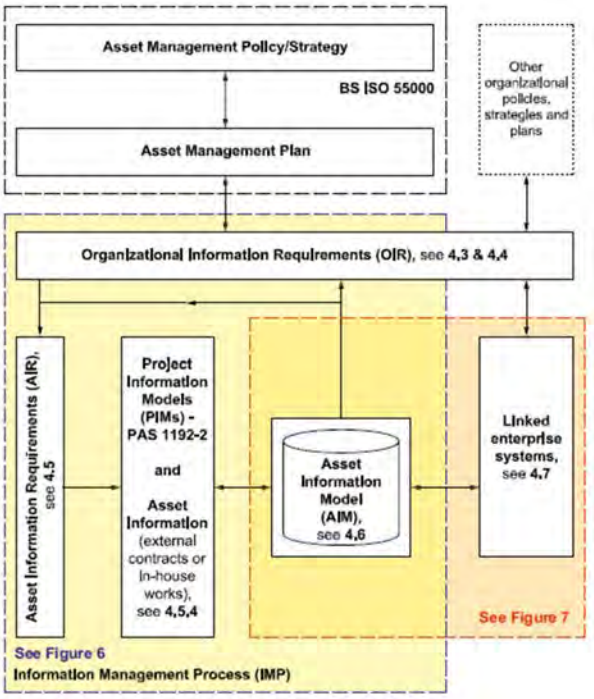



***Figura 2**. Mapa del proceso de información de activos de alto nivel*

Es decir, el modelado BIM en la gestión de activos requiere de una importante labor previa en la definición de requisitos y conocimiento de la organización a la que vaya a estar destinada, que deberá estar previamente definida antes de iniciar el trabajo. En este sentido fueron múltiples las reuniones mantenidas con todos los responsables de la cartera de activos que iban a estar incluidos dentro del alcance del sistema.

Respecto a la parte operativa del modelado indicar que se hizo mediante un sistema mixto: escaneado laser por nube de puntos y trabajo manual de campo para el levantamiento de planos de arquitectura. Respecto a las instalaciones (climatización, electricidad, datos, y PCI), todo el trabajo fue manual al estar una parte importante encima de un falso techo practicable. De este trabajo surgieron seis modelos por disciplinas: arquitectura, climatización, electricidad, fontanería, informática y mobiliario con más de 2.500 objetos representados.

En lo que respecta a la sensorización, partiendo de los requisitos establecidos por la normativa mencionada se hizo una prospección de mercado buscando algún dispositivo que se ajustara a los requerimientos previstos:

- Sensor de temperatura seca del aire. Rango: -40º C a 80º C; Precisión: ±0,5º C
- Sensor de humedad relativa. Rango: 0%-100%; Precisión: ±2-5%
- Sensor de temperatura media radiante: Rango temperatura: 0º C a 50º C; Precisión: ±0,5º C
- Sensor CO2. Rango: 0 ~ 1000 ppm; Precisión: ± (50 ppm + 3% de lectura)
- Presión atmosférica. Rango: 300 ~ 1100 hPa Precisión ± 1,5hPa

Junto a estas especificaciones se establecieron una serie de requisitos ligados a la operatividad como:

- Sistema con alimentación autónoma de alta duración. (>1,5 años)
- Posibilidad de instalación tanto en paramentos verticales como horizontales.

- Garantizar un flujo estable de los datos enviados.
- Posibilidad de reseteo remoto en caso de bloqueo del controlador.

Al no encontrar ningún dispositivo que se ajustara plenamente a estos requisitos, se decidió por un desarrollo interno. El diseño correspondió a la Unidad de Eficiencia Energética de la Universidad (UNEFE) y su realización material al Dpto. de Teoría de la señal de la E.T.S. de Ingeniería de Telecomunicación.

Para la selección de componentes y materiales se utilizó una matriz de restricciones con objeto de determinar el grado en el que los requerimientos establecidos podrían penalizar el desarrollo del prototipo para establecer una clasificación de mayor a menor, con relación a éstos. El requisito de autonomía, ligado fundamentalmente al consumo inherente de los componentes, resultó ser el crítico y sobre el que había que centrar la atención. Fijado un periodo de autonomía mínimo, se determinó el consumo medio máximo diario del dispositivo en su conjunto. A partir de ahí, se particularizó para cada uno de los componentes, teniendo en cuenta las restricciones propias relativas a las condiciones de funcionamiento. De todo ello se determinó un patrón de funcionamiento basado en la frecuencia y tiempo de muestreo máximo del dispositivo.

Una vez realizado el prototipo, actualmente se está iniciando la fase de pruebas. Los valores registrados en una base de datos junto con los datos de ocupación servirán para realizar un análisis del comportamiento del edificio y permitirá actuar sobre el sistema de control para optimizar su funcionamiento.

Respecto a los parámetros de ocupación y aforo, se está utilizando la red wifi y las conexiones de los usuarios para determinar con una precisión adecuada el aforo de las salas y de esa manera vincularla con los otros parámetros ambientales del espacio a monitorizar.

## RESULTADOS

### Metodología BIM aplicada a la Gestión de Activos

El modelo BIM del Edificio de Gestión del campus de Móstoles, resultante de la metodología anterior, es el que se muestra en la Figura 3 y en formato video, en el enlace siguiente: https://www.urjc.es/todas-las-noticias-de-actualidad/3817-la-urjc-ya-cuenta-con-su-primer-edificio-bim.

Como se ha comentado, el resultado final de este trabajo es conseguir un AIM como parte integrante de la estructura del sistema de gestión de activos. Este es en realidad un repositorio de información dentro del cual está incluido no sólo el modelo BIM 3D generado, sino toda la información que se ha podido reunir relacionada con los activos como pueden ser el libro del edificio, las especificaciones de fabricante, garantías, etc.

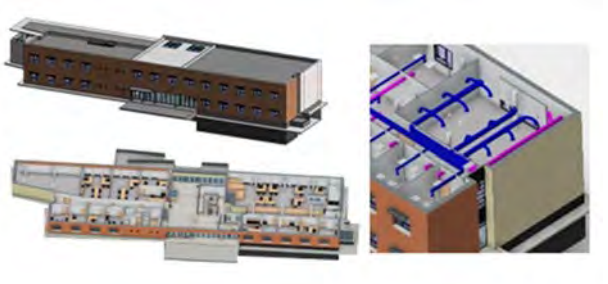


***Figura 3**. Modelo BIM del Edificio Gestión de Móstoles*

Finalmente quedaría establecer el vínculo con los programas operativos que actualmente están en uso dentro de la Universidad.

***Figura 4.*** *Ecosistema bases de datos e información de la URJC*

En la actualidad, existen ocho sistemas que están relacionados con el núcleo de la información del AIM: OCU para inventariado general; System Center para el sistema de microinformática; LAPA para el sistema de infraestructura de red, GIM para Gestión de Mantenimiento; un programa específico de reserva de espacios; y un EMS para monitorización energética y otro, BMS para el control de instalaciones. Todos ellos constituyen el ecosistema del sistema empresarial de la organización. (Figura 4).

Para permitir crear un AIM de explotación, se ha diseñado una base de datos relacional, que constituye la base de este AIM, en el que, por una parte, se ha establecido una conexión con el modelo BIM y por otra, se han establecido vínculos con la información no permanente de cada uno de los sistemas citados.

Con esta configuración, y a través de una aplicación cliente-servidor como el ejemplo de la Figura 5, es posible disponer de:

- El modelo tridimensional y la ubicación física de todos los activos considerados dentro del Plan Estratégico de Gestión de Activos.
- Información de los parámetros generales de los activos.
- Información técnico legal, manuales de operación y mantenimiento.
- Información relativa al uso y desempeño de los activos incluidos en el GMAO.

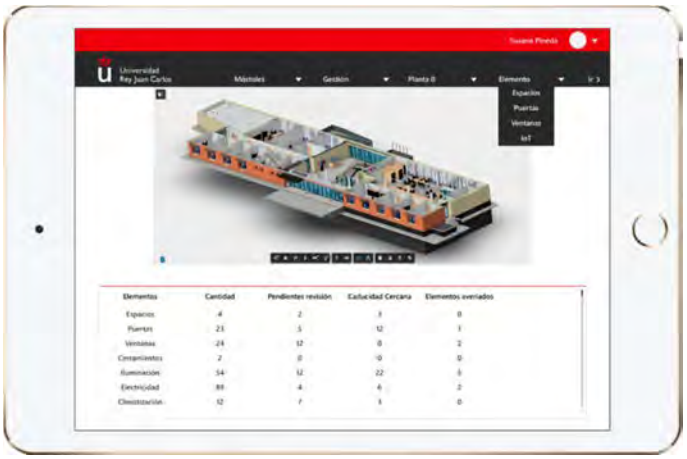


***Figura 5****. Interface de usuario para gestión de modelos y activos*

Se está procediendo igualmente a integrar la información referente a los dispositivos IoT para su visualización dentro del modelo 3D. Estas interfaces están siendo desarrolladas a través de proyectos formativos en colaboración con el grado de informática de esta Universidad.

## Tecnología IoT desarrollada

El resultado final ha sido un prototipo (Figura 6) que actualmente está siendo validado operativamente. Se ha instalado uno en fase de pruebas en un local para evaluar el efecto de la ubicación en el resultado de las medidas, habida cuenta que la temperatura operativa se ve claramente influenciada por aspectos como la velocidad del aire o la proximidad de fuentes de calor.

En cuanto a sus características básicas cabe citar:

- Fuente de alimentación: Baterías Li-ion 3,7V de 9800mAh.
- Sensores de temperatura ambiental y humedad relativa: Sensor de circuito integrado CMOS con convertidor analógico-digital, procesador de señal e interfaz de comunicación basado en el protocolo I2C.
- Sensor CO2: Sensor con tecnología NDIR (infrarrojo no dispersivo) de bajo consumo con microprocesador e interfaz de comunicación UART.
- Sensor temperatura operativa: Para este caso se tomó como punto de partida el paper "The globe thermometer in comfort and environmental studies in buildings" [3] en el que se hace una justificación teórico-técnica del desarrollo de un dispositivo para la medición de la temperatura media radiante (TMR) con un dispositivo de bajo coste.

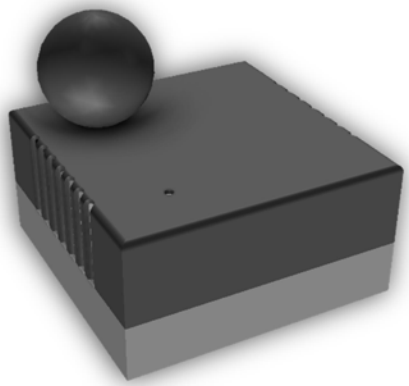


***Figura 6.*** *Prototipo dispositivo IoT*

- Sensor presión atmosférica: Sensor con tecnología piezo-resistiva de alta precisión y protocolo I2C.
- Electrónica de transmisión: El sistema se basa en una electrónica de desarrollo interno con conectividad Wifi 802.11 b/g/n 2.4GHz.

Todos los datos captados por la sonda son enviados a una base de datos donde se almacenan para luego su posterior procesado. Esta fase está todavía en desarrollo para la cual se está implementando un sistema que permita el análisis mediante computación cognitiva para poder crear un modelo de comportamiento real de la instalación y del edificio. En próximas etapas se estudiará la integración de esta información como bucle de control del BMS.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El primer resultado de esta experiencia es que este sistema ha permitido crear canales para compartir información entre departamentos de forma transparente para los usuarios, por lo que no ha obligado a modificar sustancialmente procedimientos internos, aspecto que siempre es complicado de llevar a cabo en especial en la administración pública. Lógicamente, el tener ya implantada la ISO 50001 supuso una ayuda importante al involucrar a la organización en aspectos como el liderazgo, concienciación, política y roles, aspectos que son compartidos con la ISO 55001. De igual manera, la figura de un BIM Manager integrado en el equipo ISO 50001 e ISO 55001 es fundamental ya que no solo se ha demostrado necesario a la hora de encargarse de controlar los flujos de información y validación, sino también de apoyar a todas las partes interesadas en su relación con el mantenimiento y mejora del sistema.

Este proyecto está mostrando un hecho importante. A pesar de los inconvenientes de tratar con edificios existentes, de más de 20 años de antigüedad, con carencias documentales y limitación de recursos, cuando el foco se pone en el usuario final y sus necesidades, entendiendo que el sistema debe estar al servicio del usuario y no al revés, los resultados que se obtienen, aún a pequeña escala, son francamente alentadores.

Por otra parte, la sensorización propuesta en este proyecto, y los próximos desarrollos en los que se están trabajando: aplicaciones para geolocalizar activos dentro de los edificios mediante BLE, y sistemas BFWS (Battery-Free Wireless Sensors), el uso de gafas de realidad aumentada para apoyo a las tareas de mantenimiento, etc., están abriendo un interesante campo de líneas de investigación y desarrollo que pronto se espera obtengan resultados.

En definitiva, los beneficios han sido múltiples y para todos los servicios de la Universidad:

- Gestión y Mantenimiento de Instalaciones: Disponer de toda la información de los edificios en modelos digitales permite agilizar los procesos, optimizar los recursos y mejorar el confort de los usuarios.
- Gestión de Activos: Los modelos digitales incorporan los activos de la universidad. Desde mobiliario hasta equipos informáticos, pasando por equipos de climatización, iluminación, incendios, etc.
- Eficiencia Energética: Modelización de los edificios a partir de datos reales y simulación de medidas de mejora energética.
- Docencia: Formar a alumnos en nuevas tecnologías que les permitan salir al mundo laboral con una formación acorde con las demandas del mercado. Aporta múltiples posibilidades de TFGs y TFMs. La sala de realidad virtual (Sala CAVE) permite a los alumnos interactuar con los modelos. Ver video en link https://www.youtube.com/watch?v=1jBk8UGgBKY
- Gestión de Espacios: Los responsables podrán optimizar los espacios disponibles a través del modelo digital, los cuales estarán categorizados según sus características.
- Certificaciones: Esta metodología está muy relacionada con Normas Internacionales como la ISO 50001 – Sistema de Gestión de la Energía, y la ISO 55001 – Gestión de Activos.

## REFERENCIAS

[1] BSI, 2014, PAS 1192-3:2014 Specification for information management for the operational phase of assets using building information modelling. BSI Standards Limited 2014.

[2] ISO, 2018, ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) -- Information management using building information modelling -- Part 1: Concepts and principles. https://www.iso.org/ 2019.

[3] Aparicio, Pablo et. al, 2015, The globe thermometer in comfort and environmental studies in buildings. Revista de la Construcción [online]. 2016, vol.15, n.3, pp.57-66.

iENER'19

II Congreso Ingeniería Energética

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

15:30 - 15:50 **CONFERENCIA MAGISTRAL. "Real Decreto de Autoconsumo"**

**Joan Groizard Payeras.** Director de energías renovables y mercado eléctrico. **IDAE**

iENER'19
II Congreso Internacional
de Ingeniería Energética

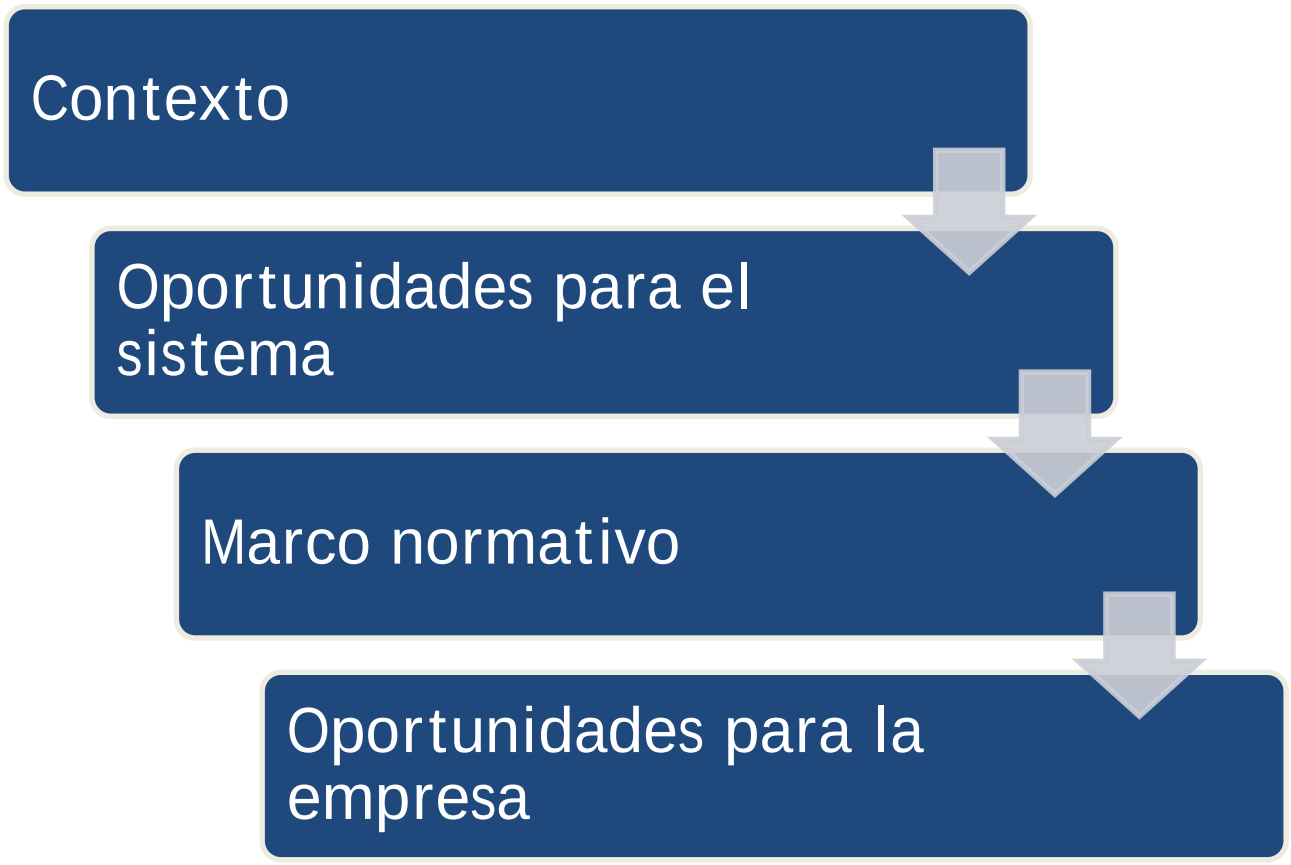
# NUEVO MARCO NORMATIVO DEL AUTOCONSUMO

Joan Groizard Payeras
Director de energías renovables y mercado eléctrico - IDAE

aee

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

IDAE
Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía


Contexto
Oportunidades para el sistema
Marco normativo
Oportunidades para la empresa

- Contexto
- Oportunidades para el sistema
- Marco normativo
- Oportunidades para la empresa

PARIS2015
UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE
COP21·CMP11

**Acuerdo de París**: Objetivos globales de descarbonización

**"Winter package":** Mensaje muy claro hacia la democratización de la energía

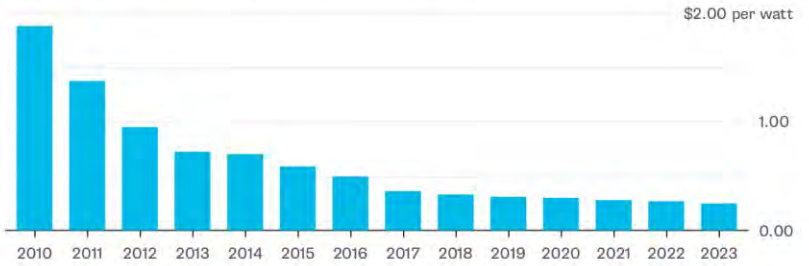
The regulatory changes introduced by the current package and the shift from centralised conventional generation to decentralised, smart and interconnected markets will also make it easier for consumers to generate their own energy, store it, share it, consume it or sell it back to the market – directly or as energy cooperatives. Consumers will be able to offer demand response directly or through energy aggregators. New smart technologies will make it possible for consumers – if they chose to do so – to control and actively manage their energy consumption while improving their comfort. These changes will make it easier for households

Comunicación de la Comisión Europea COM(2016) 860 final

PNIEC
Energía y Clima
Un Plan de Hoy para el Mañana
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
IDAE

**Sundown**

The cost of solar modules has fallen dramatically already

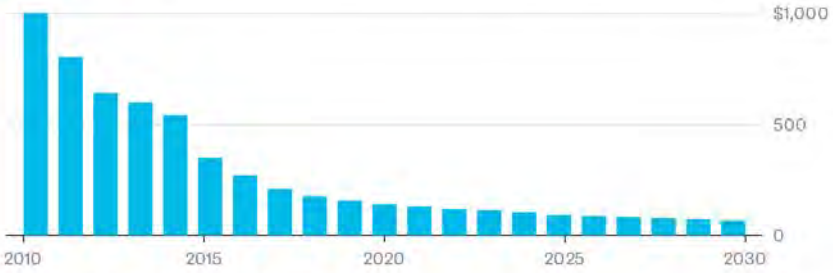



Note: Average estimated and projected module cost for U.S. utility-scale tracking solar installation. Real 2017 U.S dollars.
Source: Bloomberg New Energy Finance

BloombergView

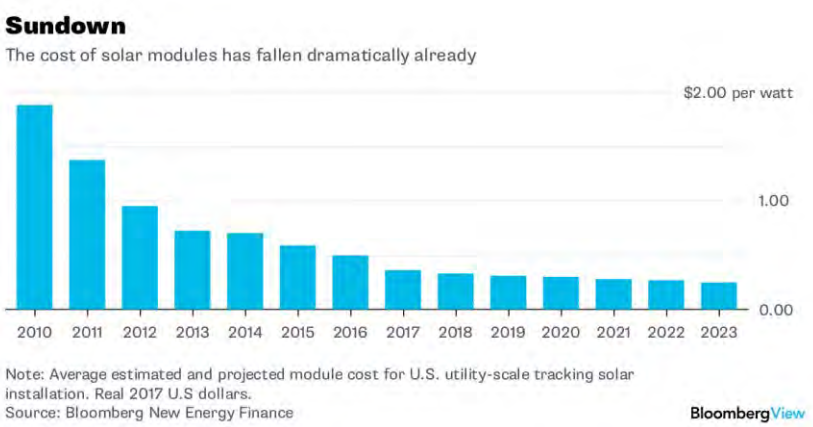
**Cheaper Batteries**

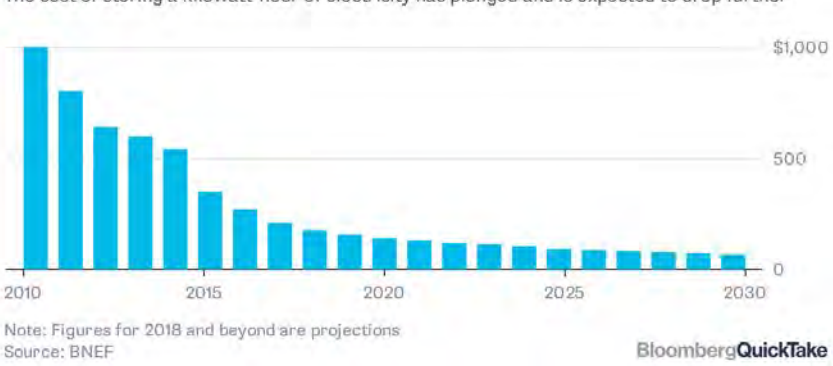
The cost of storing a kilowatt-hour of electricity has plunged and is expected to drop further

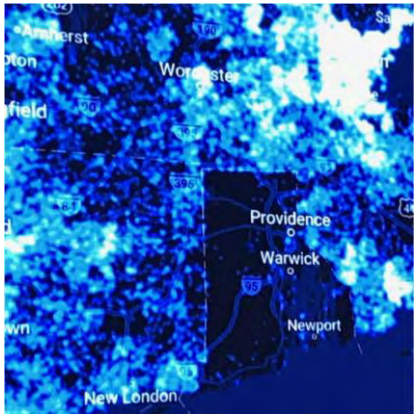



Note: Figures for 2018 and beyond are projections
Source: BNEF

BloombergQuickTake


Sundown
The cost of solar modules has fallen dramatically already
$2.00 per watt
1.00
0.00
2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023
Note: Average estimated and projected module cost for U.S. utility-scale tracking solar installation. Real 2017 U.S dollars.
Source: Bloomberg New Energy Finance
BloombergView

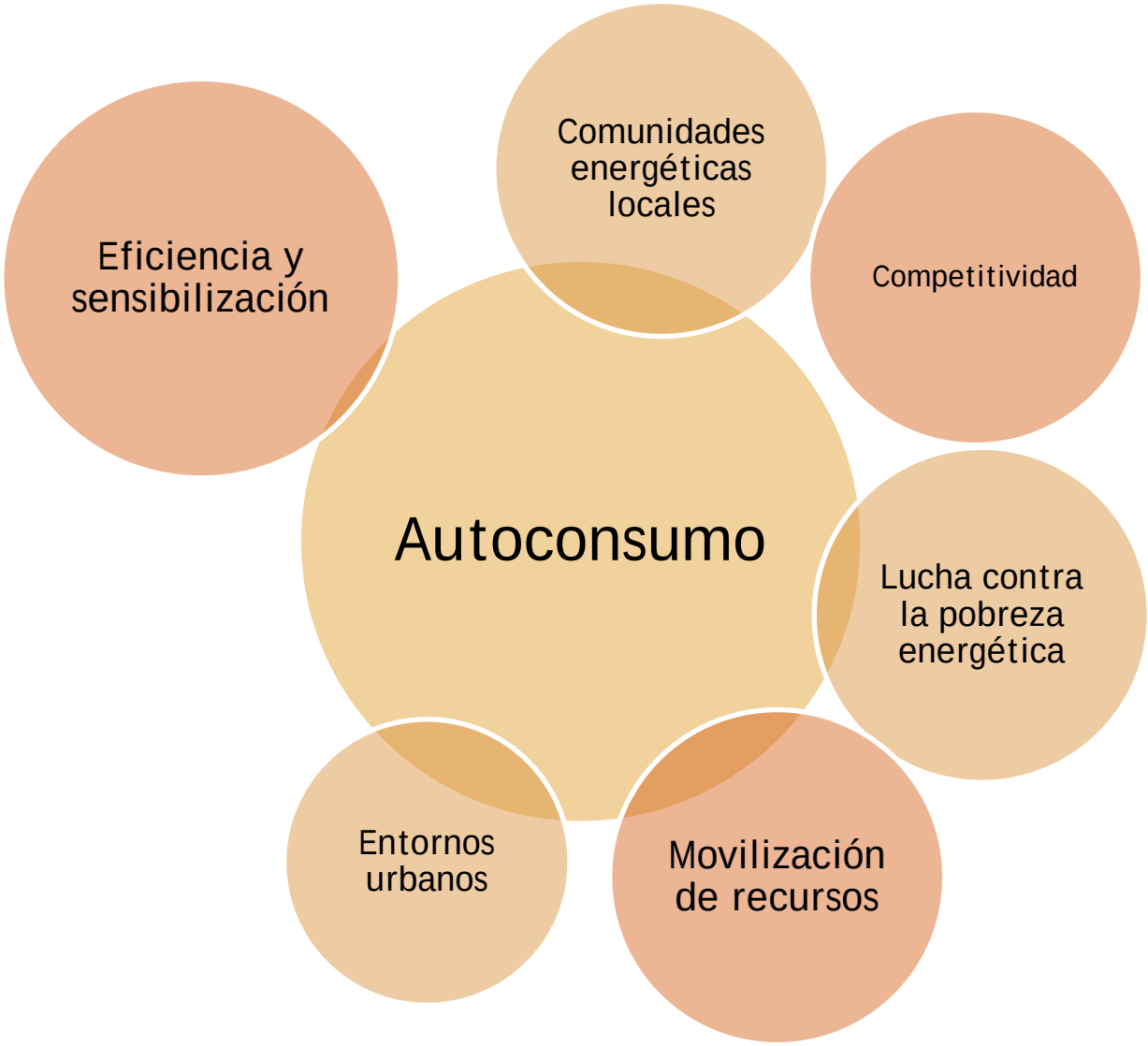

Cheaper Batteries
The cost of storing a kilowatt-hour of electricity has plunged and is expected to drop further
$1,000
500
0
2010 2015 2020 2025 2030
Note: Figures for 2018 and beyond are projections
Source: BNEF
BloombergQuickTake

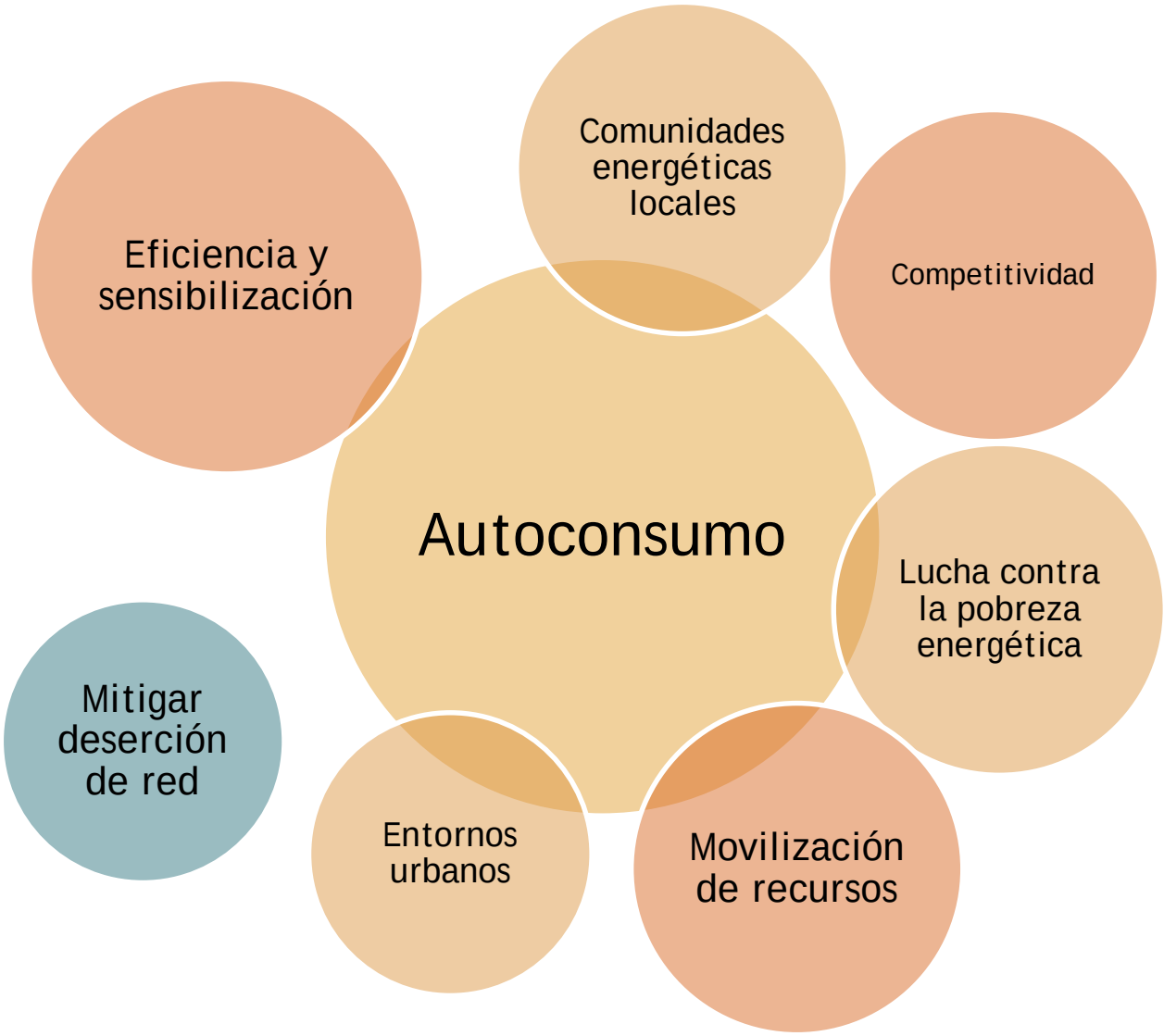

Providence
Warwick
Newport
New London

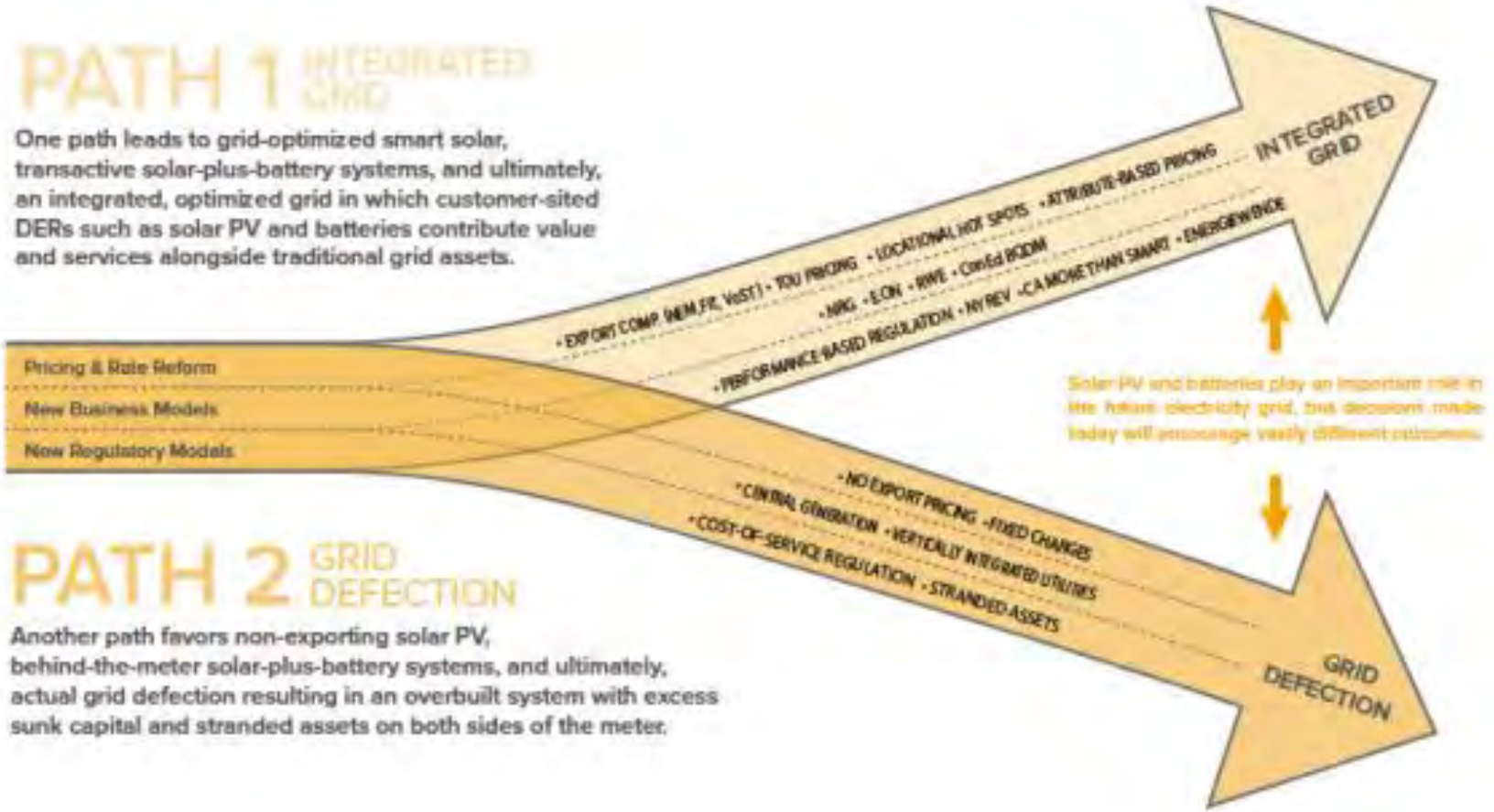
Evolución de la inversión renovable en España (2005-2019)
MM €
20.000
18.000
16.000
14.000
12.000
10.000
8.000
6.000
4.000
2.000
0
2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018

PRODUCTOR
CONSUMIDOR
①
Contador suministro ①
Red de distribución
DISTRIBUIDORA
COMERCIALIZADORA

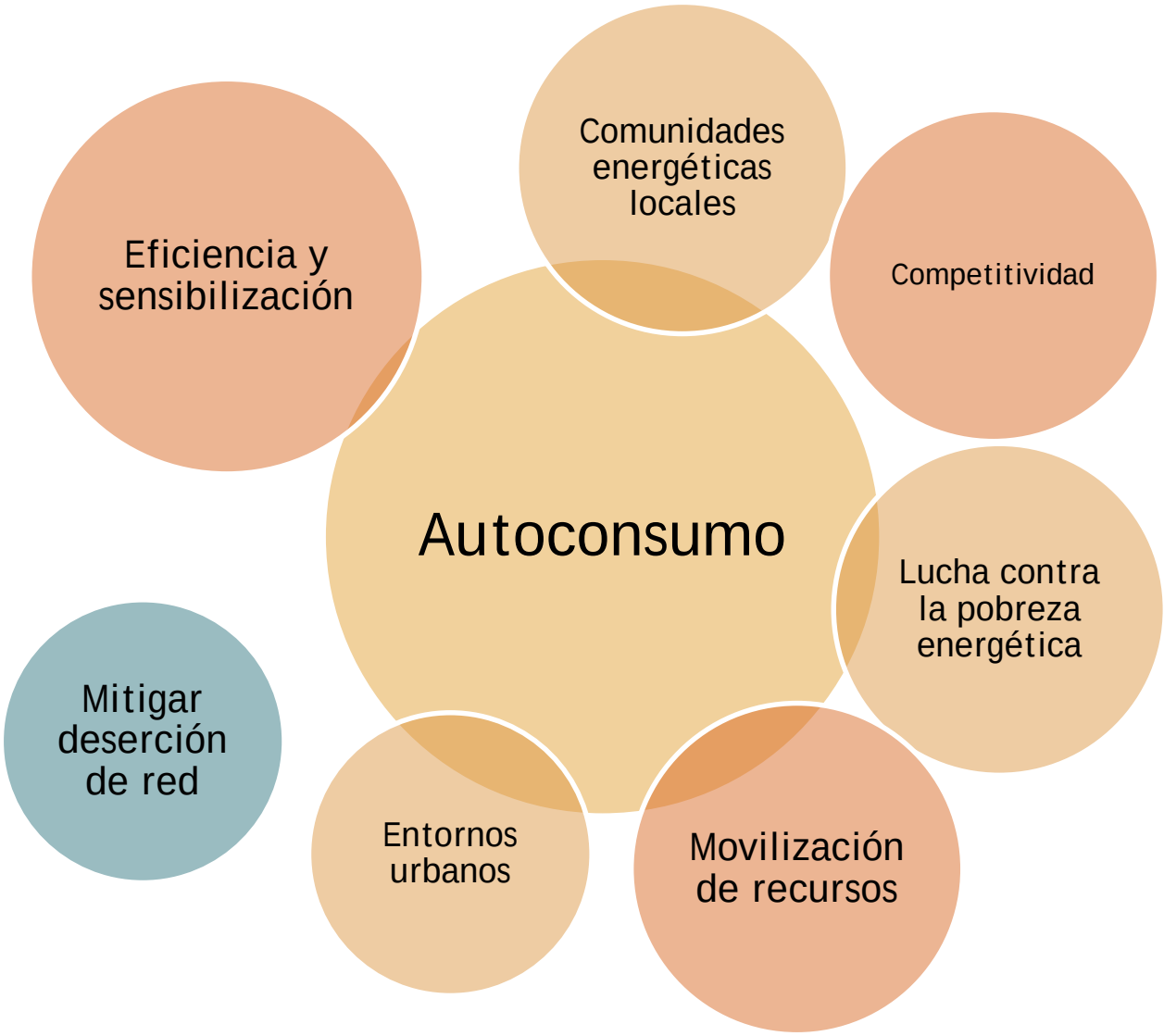
- Contexto
- Oportunidades para el sistema
- Marco normativo
- Oportunidades para la empresa

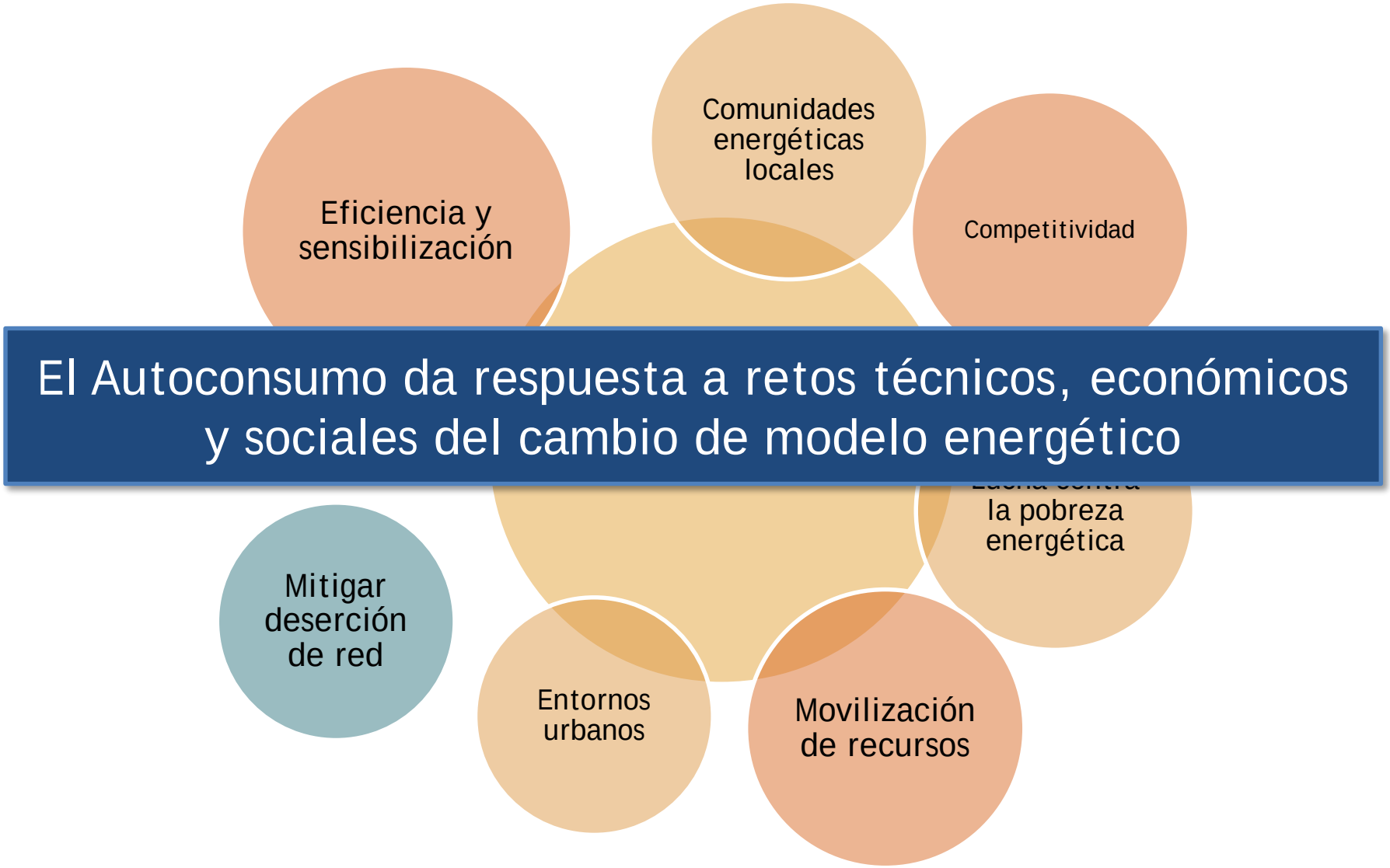

Comunidades energéticas locales
Eficiencia y sensibilización
Competitividad
Autoconsumo
Lucha contra la pobreza energética
Entornos urbanos
Movilización de recursos


Comunidades energéticas locales
Eficiencia y sensibilización
Competitividad
Autoconsumo
Lucha contra la pobreza energética
Mitigar deserción de red
Entornos urbanos
Movilización de recursos



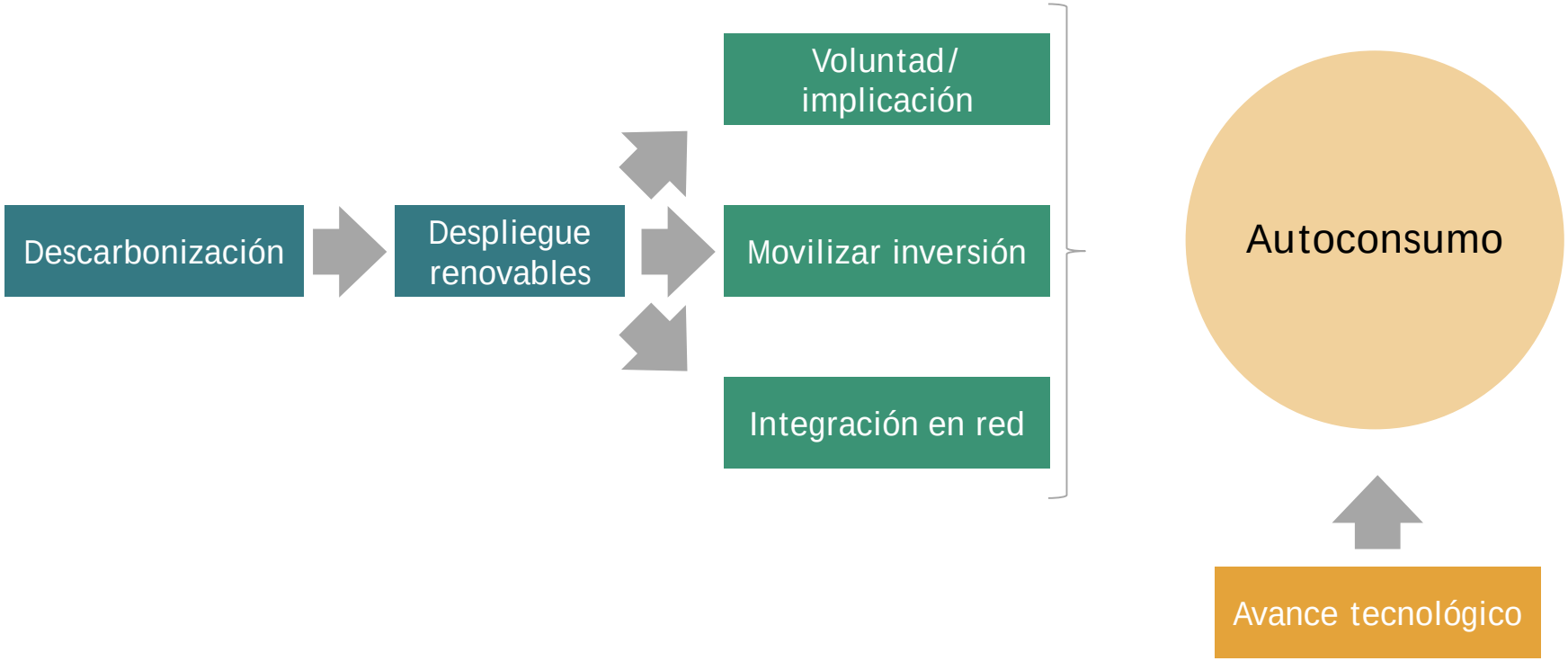

Fuente: *Rocky Mountain Institute: The Economics of Grid Defection*

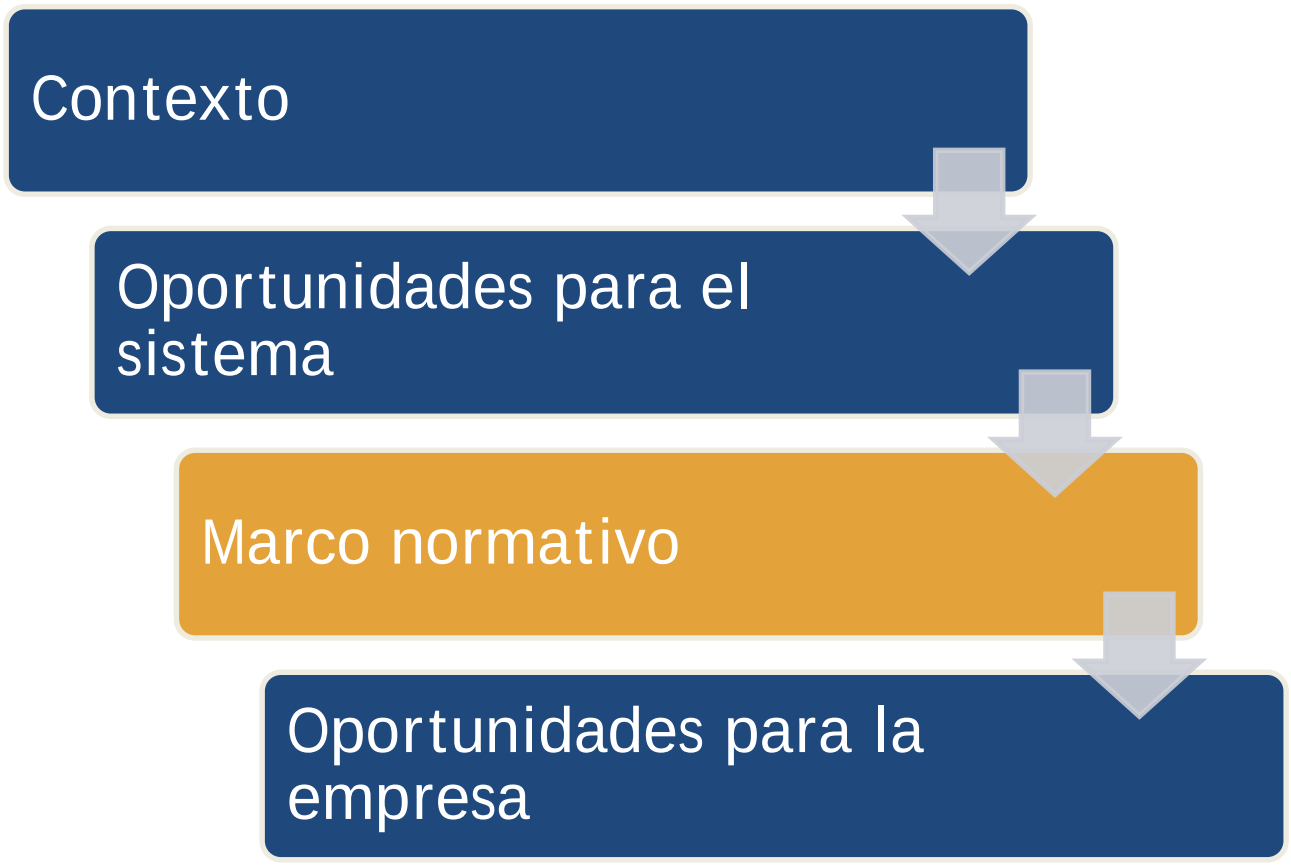

Comunidades energéticas locales
Eficiencia y sensibilización
Competitividad
Autoconsumo
Lucha contra la pobreza energética
Mitigar deserción de red
Entornos urbanos
Movilización de recursos




# El Autoconsumo da respuesta a retos técnicos, económicos y sociales del cambio de modelo energético

# PLANTEAMIENTO ESTRATÉGICO




Contexto
Oportunidades para el sistema
Marco normativo
Oportunidades para la empresa

Forbes

89,942 views | Aug 19, 2013, 04:46pm

# Out Of Ideas And In Debt, Spain Sets Sights On Taxing The Sun

**Kelly Phillips Erb** Senior Contributor

Taxes

## Situación previa

| | |
|---|---|
| **"Impuesto al sol"** | *Cargo transitorio por energía autoconsumida* |
| **Impedimentos legales** | Contador de generación |
| | Trámites de acceso y conexión |
| | Infracción "grave" y "muy grave" de la Ley del Sector Eléctrico |
| | Obligaciones de registro |
| **Definición restrictiva** | Autoconsumo instantáneo |
| | Connectado a red interior |
| | (Un único consumidor) |

L 328/82 ES Diario Oficial de la Unión Europea 21.12.2018

# DIRECTIVAS

## DIRECTIVA (UE) 2018/2001 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO

**de 11 de diciembre de 2018**

**relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables**

**(versión refundida)**

**(Texto pertinente a efectos del EEE)**

L 328/82 ES Diario Oficial de la Unión Europea 21.12.2018

DIRECTIVAS

**DIRECTIVA (UE) 2018/2001 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO**
**de 11 de diciembre de 2018**
**relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables**
**(versión refundida)**

**(Texto pertinente a efectos del EEE)**

0 ES Diario Oficial de la Unión Europea 21.12.2018

*Artículo 21*

**Autoconsumidores de energías renovables**

1. Los Estados miembros garantizarán que los consumidores tengan derecho a convertirse en autoconsumidores de energías renovables, con arreglo al presente artículo.

2. Los Estados miembros garantizarán que los autoconsumidores de energías renovables, de manera individual o mediante agregadores, tengan derecho a:

a) generar energía renovable, incluido para su propio consumo, almacenar y vender su excedente de producción de electricidad renovable, en particular mediante contratos de compra de electricidad renovable, acuerdos comerciales con proveedores de electricidad y entre pares, sin estar sujetos:

   i) en relación con la electricidad que consumen de la red o vierten a la red, a procedimientos y cargos discriminatorios o desproporcionados y a tarifas de la red que no reflejen los costes;

   ii) en relación con la electricidad procedente de fuentes renovables autogenerada y que permanece dentro de sus locales, a procedimientos discriminatorios o desproporcionados y cualquier cargo o tasa;

b) instalar y utilizar sistemas de almacenamiento de electricidad combinados con instalaciones que generen electricidad renovable para el autoconsumo sin estar sujetos a ningún tipo de doble carga, incluidas las tarifas de la red para la electricidad almacenada que permanece dentro de sus locales;

c) preservar sus derechos y obligaciones como consumidores finales;

d) recibir una remuneración, incluido, en su caso, a través de sistemas de apoyo, por la electricidad renovable autogenerada vertida a la red, que refleje su valor de mercado y pueda tener en cuenta su valor a largo plazo para la red, el medio ambiente y la sociedad.

BOE

# BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO

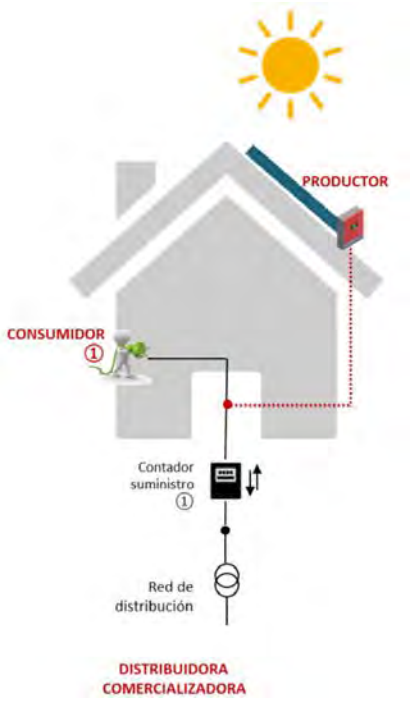
Núm. 242 Sábado 6 de octubre de 2018 Sec. I. Pág. 97430

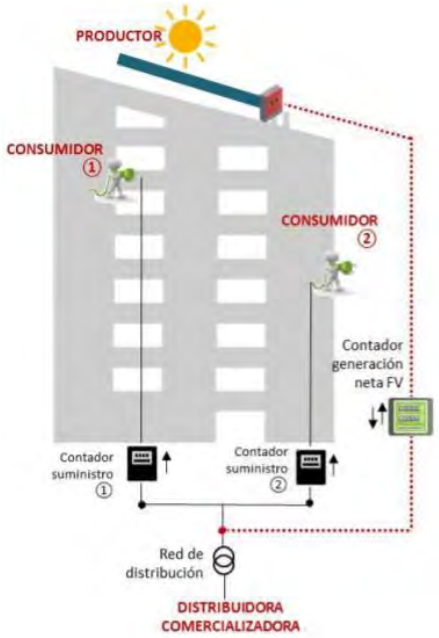
## I. DISPOSICIONES GENERALES

### JEFATURA DEL ESTADO

**13593** *Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.*

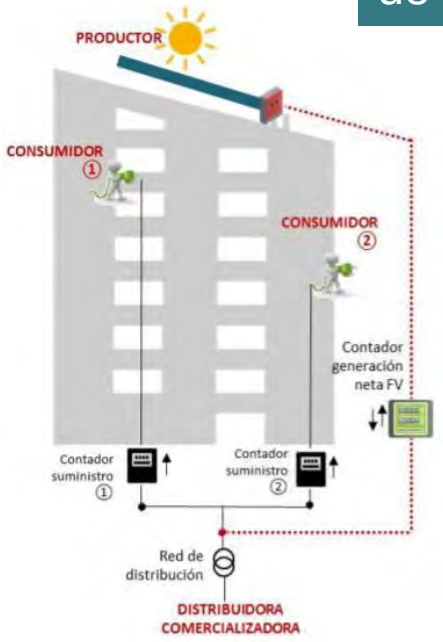
| | Situación previa | Cambios en RDL 15/2018 |
|---|---|---|
| **"Impuesto al sol"** | *Cargo transitorio por energía autoconsumida* | **Autoconsumo renovable libre de todo tipo de cargos y peajes** |
| **Impedimentos legales** | Contador de generación | Desaparece segundo contador |
| | Trámites de acceso y conexión | Exentos: sin excedentes o hasta 15kW |
| | Infracción "grave" y "muy grave" de la Ley del Sector Eléctrico | Infracción "muy grave" cuando se perturba la red.<br>"Leve" en el resto de casos. |
| | Obligaciones de registro | Declarativo. De oficio por parte de CCAA para BT hasta 100kW. |
| **Definición restrictiva** | Autoconsumo instantáneo | Nueva definición |
| | Connectado a red interior | |
| | (Un único consumidor) | |


PRODUCTOR
CONSUMIDOR
①
Contador suministro
①
Red de distribución
DISTRIBUIDORA
COMERCIALIZADORA

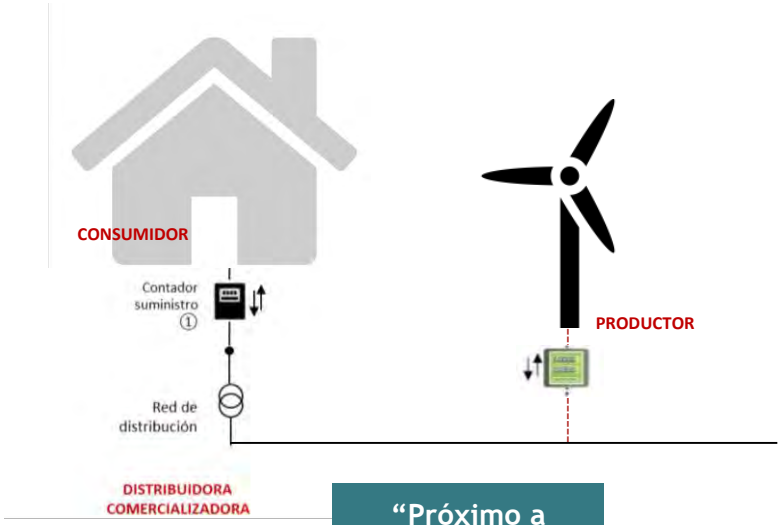



Compartido o colectivo

Se amplían las posibilidades y configuraciones para los sistemas de autoconsumo.




Compartido o colectivo



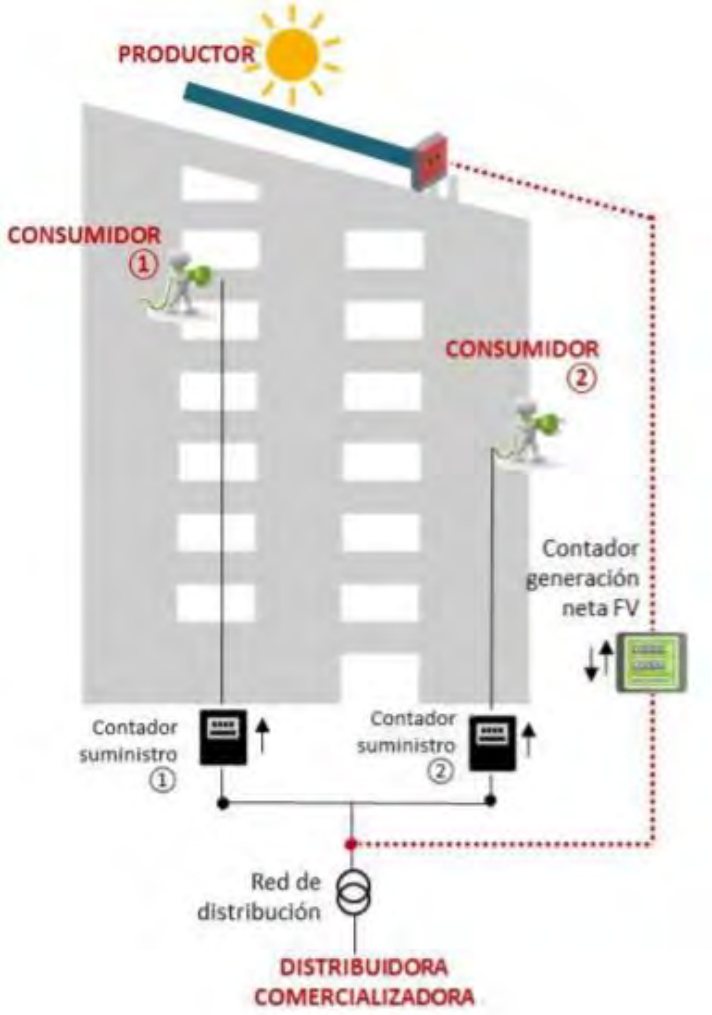

**"Próximo a través de red"**

- 500m
- Mismo CT
- Misma referencia catastral

| | |
|---|---|
| Compensación simplificada de excedentes en la factura de la luz | **Valoriza los excedentes evitando el registro y la actividad de "productor"** |
| Los servicios auxiliares se consideran "despreciables" si consumen menos del 1% de la energía generada | **Facilita que un tercero* haga la inversión y venda la energía al usuario** |
| Se permiten instalaciones de generación monofásicas hasta 15kW | **Permite optimizar mejor instalaciones monofásicas existentes** |
| Se permiten múltiples contadores de generación; y conexión más allá del centro de transformación propio | **Abarata la instalación en grandes complejos (polideportivos, colegios, campus…)** |

*como una empresa instaladora, comercializadora, u otros modelos de negocio que puedan surgir

En un sistema cada vez más democratizado, la sensibilización también es política energética.




El siguiente paso: el reparto dinámico en el autoconsumo colectivo

# MEDIDAS DE IMPULSO

- Marco normativo
- Señales de precio
- Acceso al dato
- Eliminación de otras barreras
- Sensibilización

# MEDIDAS DE IMPULSO

- Marco normativo
- Señales de precio
- Acceso al dato
- Eliminación de otras barreras
- Sensibilización

# MEDIDAS DE IMPULSO

- Marco normativo
- Señales de precio
- Acceso al dato
- Eliminación de otras barreras
- Sensibilización

# MEDIDAS DE IMPULSO

- Marco normativo
- Señales de precio
- Acceso al dato
- Eliminación de otras barreras
- Sensibilización

# MEDIDAS DE IMPULSO: ACCESO AL DATO

Usuarios
Cambio de comportamiento y selección de tarifas o productos

Empresas
Oferta y ejecución de servicios energéticos - demanda, generación, almacenamiento, agregación

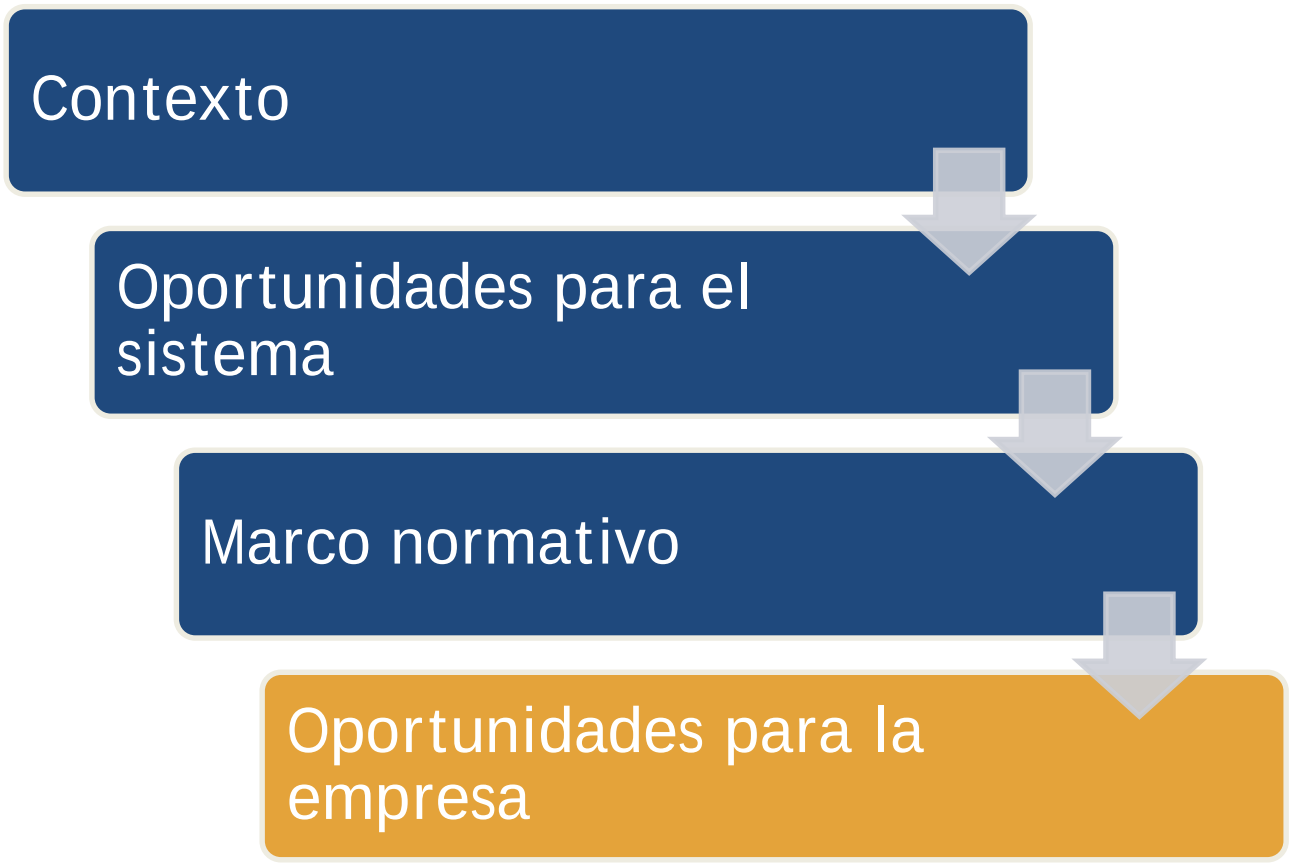
Operadores regulados
Propuestas y decisiones de inversión u operación (incl. servicios al sistema)

Administración y regulador
Diseño de políticas públicas estatales o regionales

Público
Investigación, estadísticas, estudios…

# MEDIDAS DE IMPULSO

- Marco normativo
- Señales de precio
- Acceso al dato
- Eliminación de otras barreras
- Sensibilización


Contexto
Oportunidades para el sistema
Marco normativo
Oportunidades para la empresa

# Oportunidades del autoconsumo en el sector privado

## Mejora de la competitividad

- Ahorro de costes energéticos
- Resiliencia a variación de precios
- Numerosas alternativas de financiación
- Resiliencia ante futuras exigencias ambientales
- Participación en servicios al sistema (agregación)

## Nuevas líneas o modelos de negocio

- Energy "as a service" o soluciones integrales
- Soluciones para comunidades
- Servicio complementario a comercialización, instalación, financiación - o ligado a otros sectores

## Respuesta a retos energéticos específicos

- Actividades intensivas en energía
- Movilidad eléctrica

## RSC y valor compartido

- Lucha contra el cambio climático y contribución a ODS 8, 9, 11, 12
- Fácil comunicación a usuarios y clientes
- Oportunidad de cooperación o "clustering" con otras empresas
- Aportación al empleo local

iENER'19
II Congreso Internacional
de Ingeniería Energética

# NUEVO MARCO NORMATIVO DEL AUTOCONSUMO

Joan Groizard Payeras
Director de energías renovables y mercado eléctrico - IDAE

aee

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

IDAE
Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

15:50 - 17:50

**SESIÓN 6 Track A. EFICIENCIA y EDIFICACIÓN**

Modera: Isabel Cebrián. **ENDESA**

"Evaluación de las zonas climáticas utilizadas en España y dinámica de cambios en el H2100. Adaptación de la edificación" **Carmen Díaz López.** Investigadora **UNIVERSIDAD DE GRANADA**

"Redes de agua caliente y agua fría. La importancia del equilibrado garantizando las presiones diferenciales y los caudales de contrato" **José Franciso Andreu Yela.** Jefe de Ventas. **SAMSOM**

"Comparativa del consumo energético en viviendas con diferentes estándares pasiv, tras un año de implantación" **José María Guerra Romero**. Director de Expansión. **GARCÍA DE CELIS**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# EVALUACIÓN DE LAS ZONAS CLIMÁTICAS UTILIZADAS EN ESPAÑA Y DINÁMICA DE CAMBIOS EN EL H2100. ADAPTACIÓN DE LA EDIFICACIÓN.

Carmen Díaz López

Con el apoyo:

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

Fundación Biodiversidad 20 AÑOS

PIMA adapta

oecc Oficina Española de Cambio Climático

UNIVERSIDAD DE GRANADA

aee The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice


1 EDIFICACIÓN Y ZONAS CLIMÁTICAS EN ESPAÑA

2 LA ADAPTACIÓN AL H2100

3 NUEVA CALIFICACIÓN Y DINAMICA DE CAMBIOS

1

## EDIFICACIÓN Y ZONAS CLIMÁTICAS EN ESPAÑA

LAS ZONAS CLIMÁTICAS ACTUALES DEL CTE

# ¿hacia dónde va la edificación?

LOS ODS Y EL PENSAMIENTO DEL CICLO DE VIDA

**ADAPTACIÓN DE LA EDIFICACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO**

EFECTO ISLA DE CALOR

RESILIENCIA

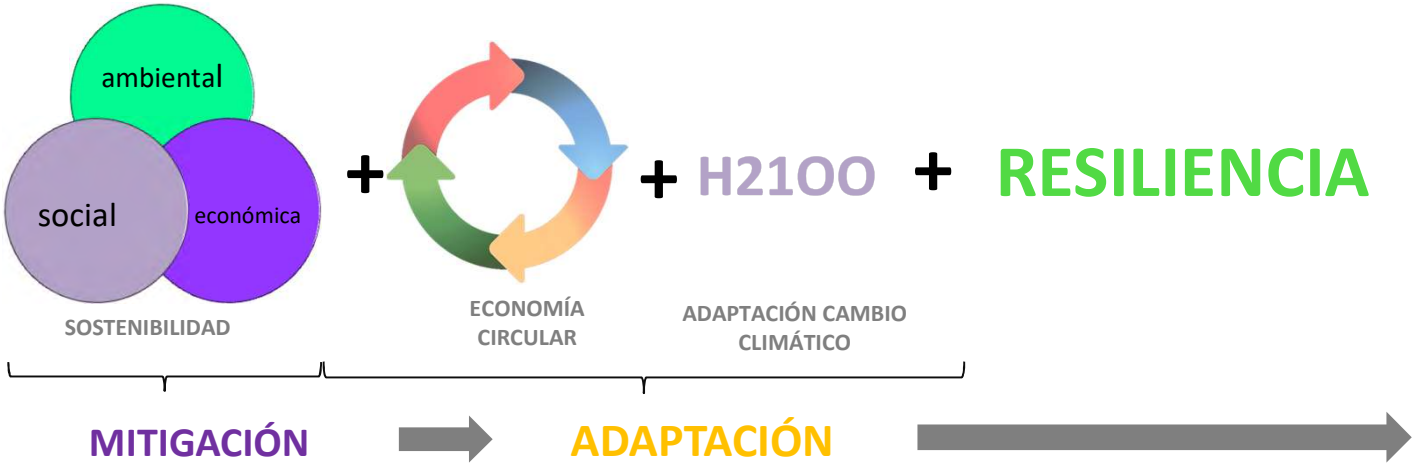
ECONOMÍA CIRCULAR

1

## EDIFICACIÓN Y ZONAS CLIMÁTICAS EN ESPAÑA

# LAS ZONAS CLIMÁTICAS ACTUALES DEL CTE

**AHORA** **FUTURO**



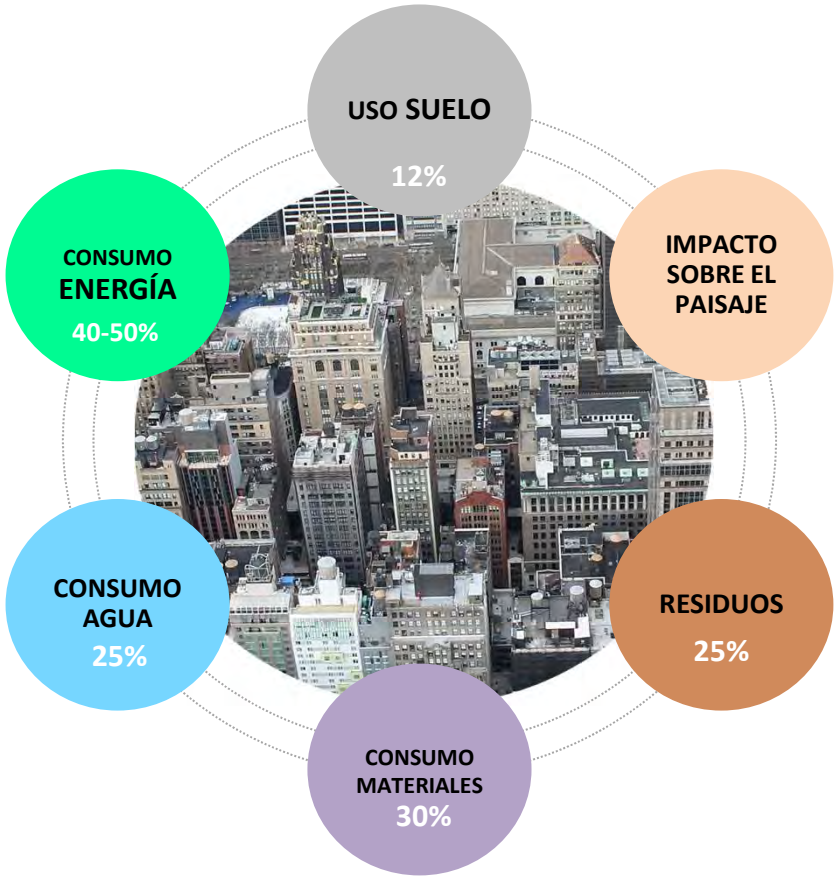
1

## EDIFICACIÓN Y ZONAS CLIMÁTICAS EN ESPAÑA

# LA HUELLA QUE VAMOS DEJANDO

### Impacto ambiental de la construcción

- ✓ **GEI duplicado** desde **1970**.
- ✓ en 2010 **8,8 $GtCO_2$**.
- ✓ **$CO_2$** aumentarán hasta entre el **50%** y el **150%** para 2050.
- ✓ derrochador e ineficiente.
- ✓ mitad de la demanda mundial de electricidad



1

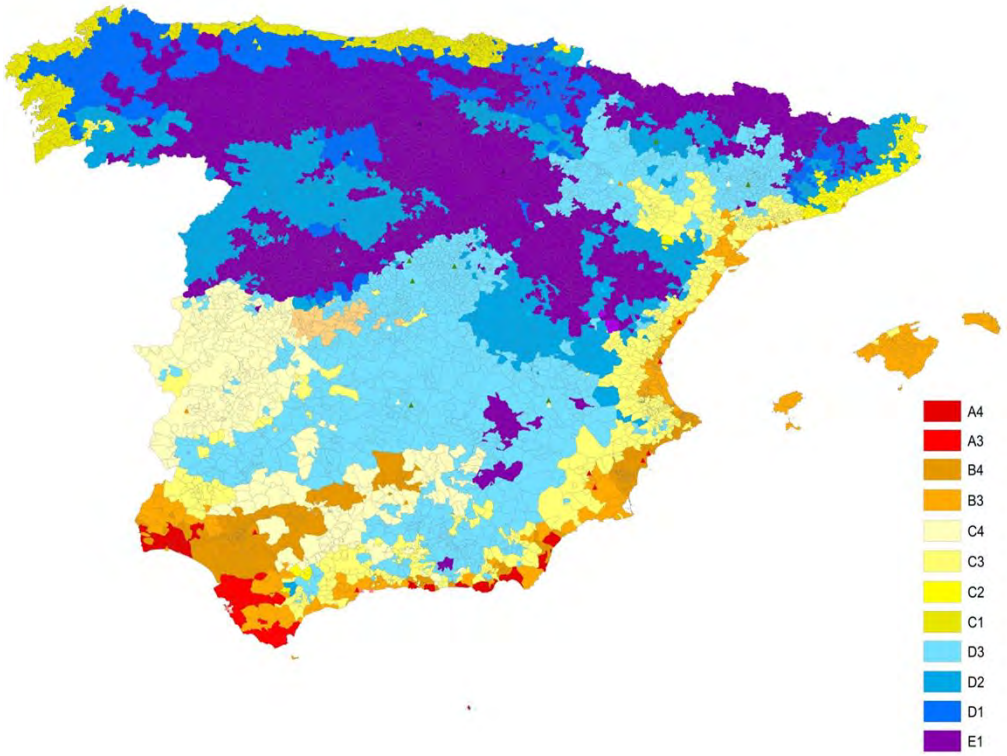
## EDIFICACIÓN Y ZONAS CLIMÁTICAS EN ESPAÑA

# LA HUELLA QUE VAMOS DEJANDO

1

## EDIFICACIÓN Y ZONAS CLIMÁTICAS EN ESPAÑA

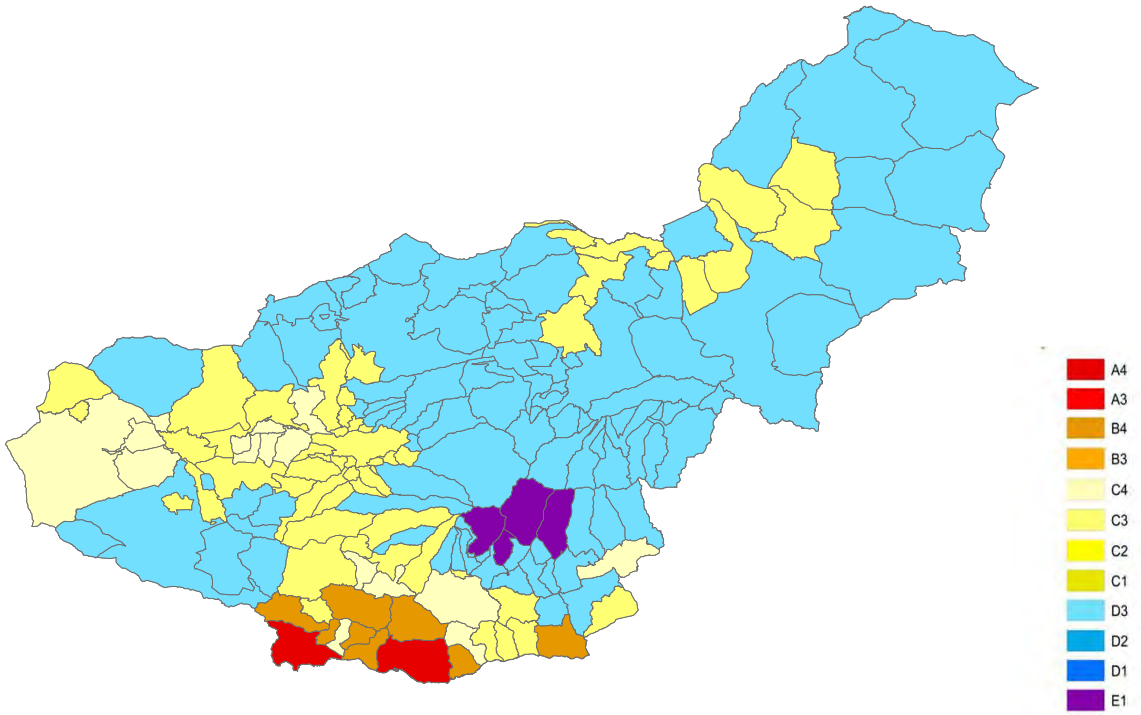
# LAS ZONAS CLIMÁTICAS ACTUALES DEL CTE



1

## EDIFICACIÓN Y ZONAS CLIMÁTICAS EN ESPAÑA

# LAS ZONAS CLIMÁTICAS ACTUALES DEL CTE



2

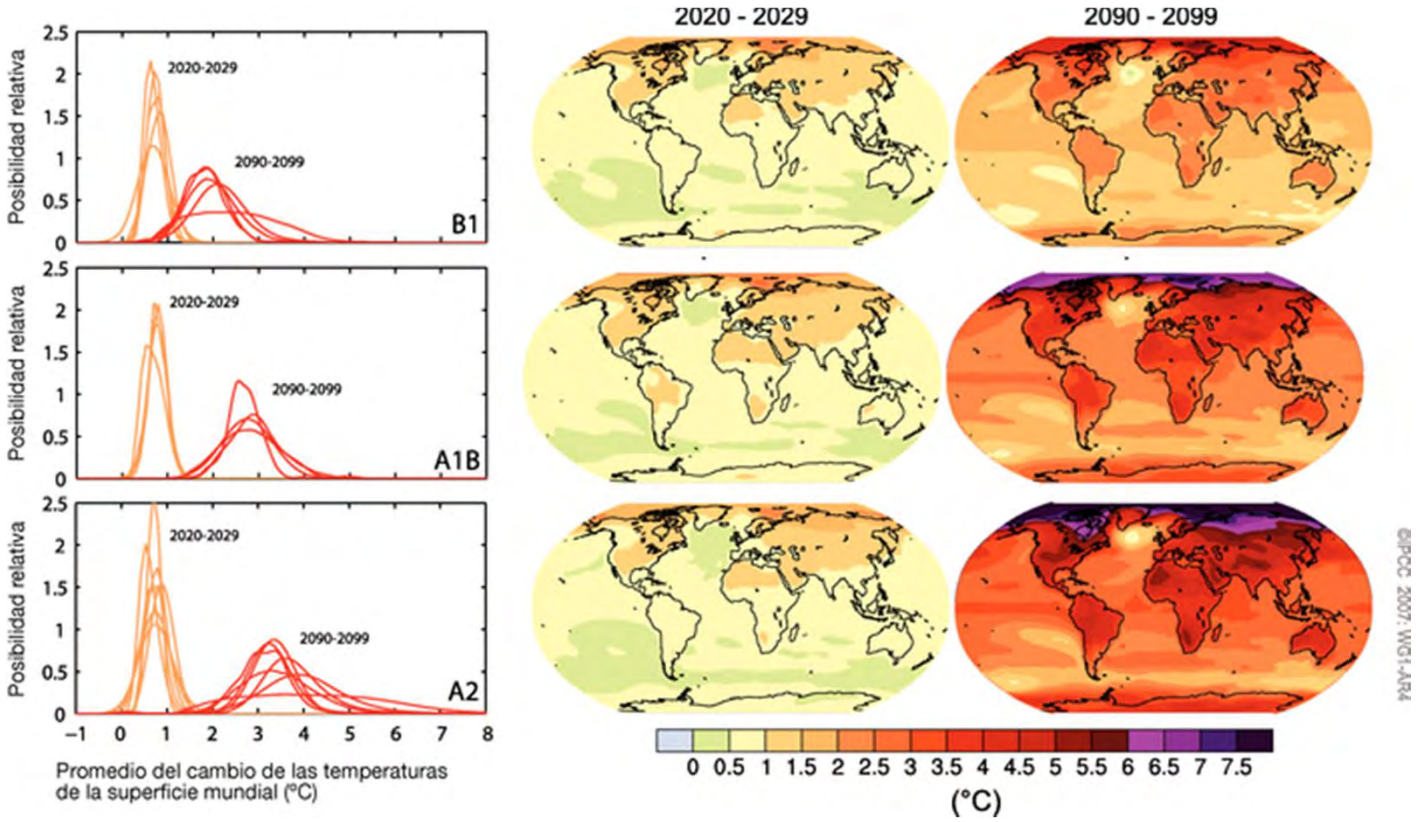
**ADAPTACION H2100**

# ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

*[1]Las propuestas de ocupación y distribución en el territorio urbano de los distintos usos y actividades deben tener en consideración las características actuales y futuras del clima y los efectos del cambio climático, de forma tal que la estructura y el metabolismo urbano estén plenamente adaptados a las condiciones cambiantes del clima*

[1]FEMP-Red Española de Ciudades por el Clima, 2015

# ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO



2 ADAPTACION H2100

# ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

## Estrategias de adaptación al CAMBIO CLIMÁTICO

Cuando el cambio climático devora tu hogar

adaptación al cambio climático tiene por objetivo reducir la vulnerabilidad de la sociedad y la susceptibilidad de los sistemas naturales, ante los efectos reales o esperados del cambio climático.

- construcción de diques o alimentación de la playa,
- sistemas de aviso térmico
- construcción de edificios resistentes al clima

# METODOLOGIA

1. Elección de puntos
2. Elección de rango temporal
3. Elección Base de Datos(AEMET)
4. Volcado de datos PI System
5. Arquitectura de datos
6. Análisis de resultados

# METODOLOGIA

**Cálculo de grados-día de calefacción y refrigeración**

**Calculo del índice de Severidad climática de verano (SCV) y de invierno (SCI).**

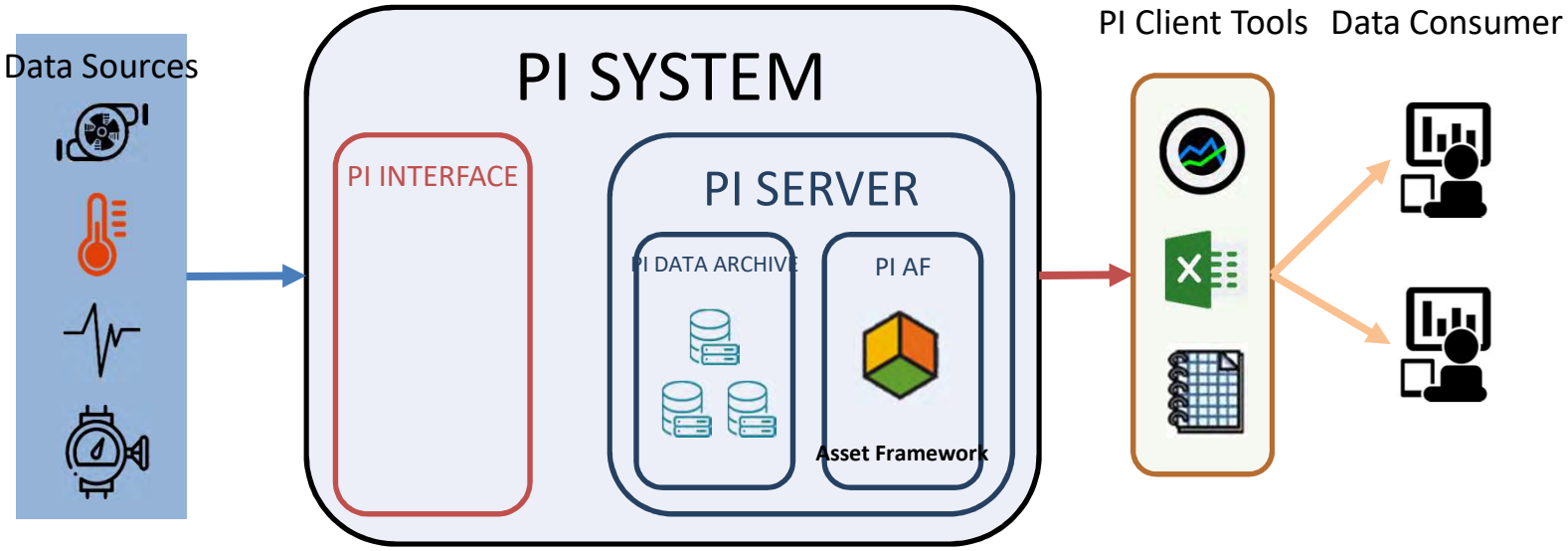
$$SCV = a \cdot CDD20_{jun\text{-}sep} + b \cdot CDD20_{jun\text{-}sep}{}^{2} + c$$

$$SCI = a \cdot HDD20_{oct-m} + b \cdot \frac{n}{N} + c \cdot HDD20_{oct-may}{}^{2} + d \cdot \left(\frac{n}{N}\right)^{2} + e$$

3

## NUEVA CALIFICACIÓN Y DINAMICA DE CAMBIOS

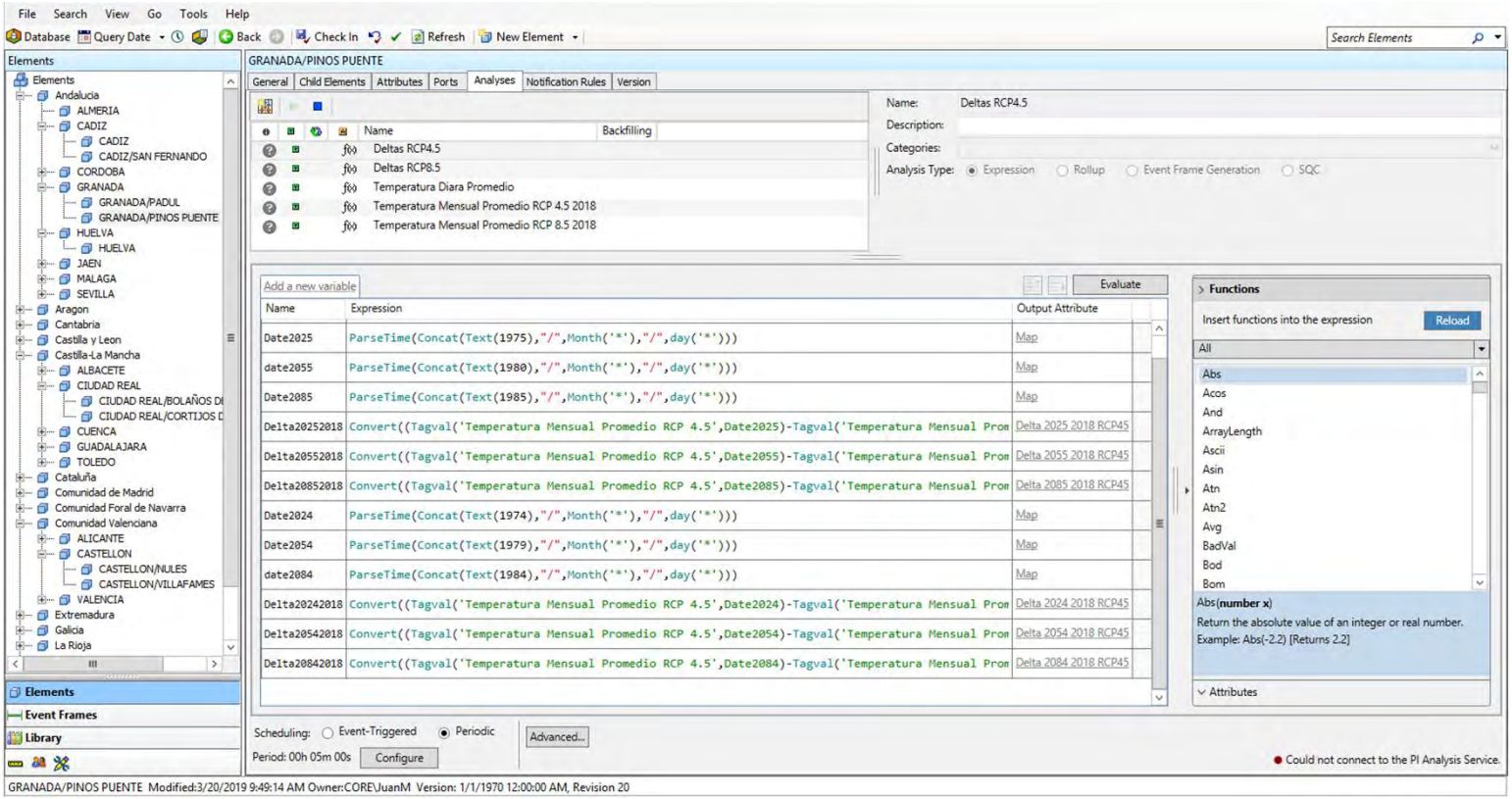
# METODOLOGIA



3

## NUEVA CALIFICACIÓN Y DINAMICA DE CAMBIOS

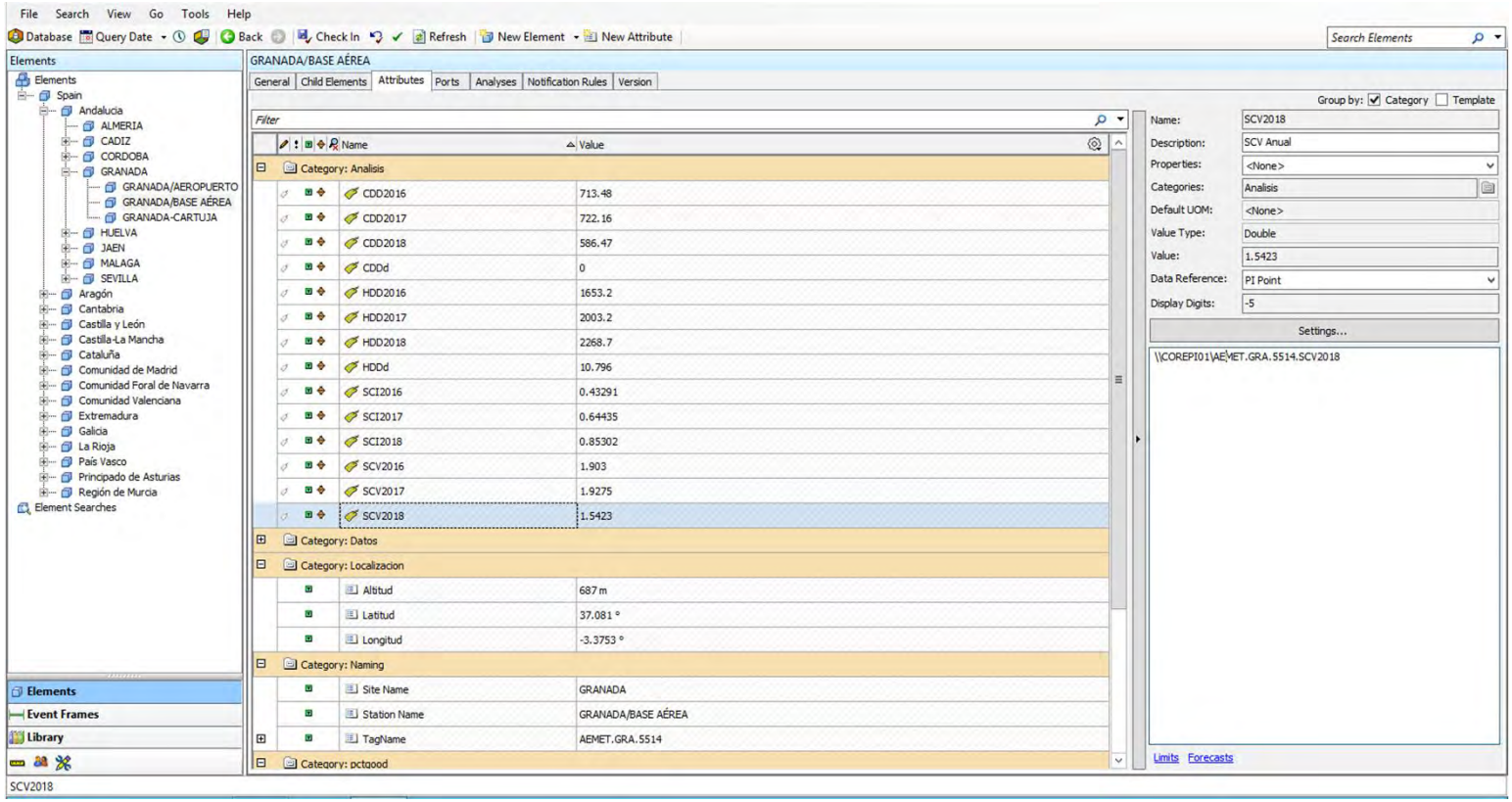
# METODOLOGIA



3

# NUEVA CALIFICACIÓN Y DINAMICA DE CAMBIOS

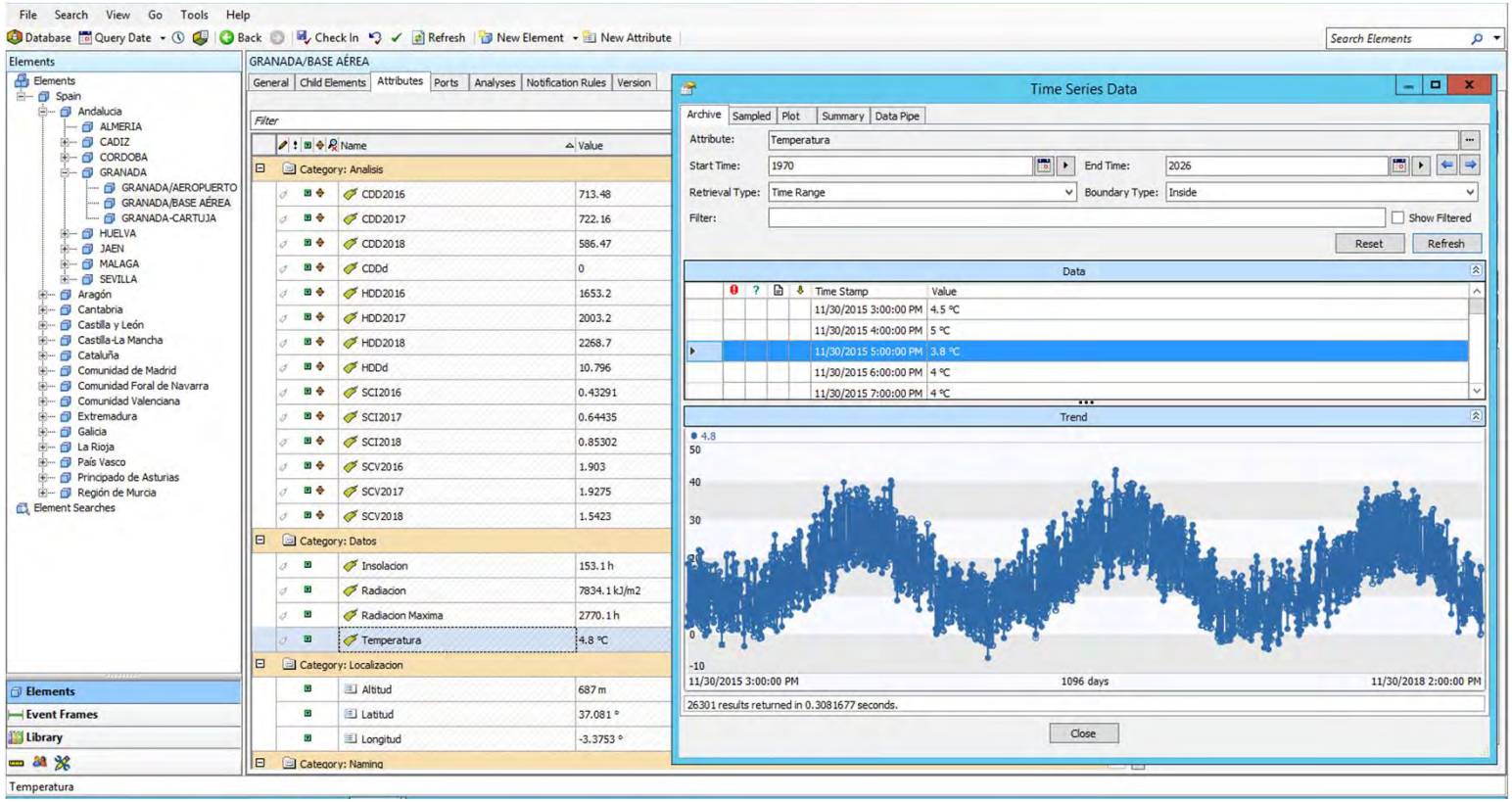
## METODOLOGIA



3

# NUEVA CALIFICACIÓN Y DINAMICA DE CAMBIOS

## METODOLOGIA



3

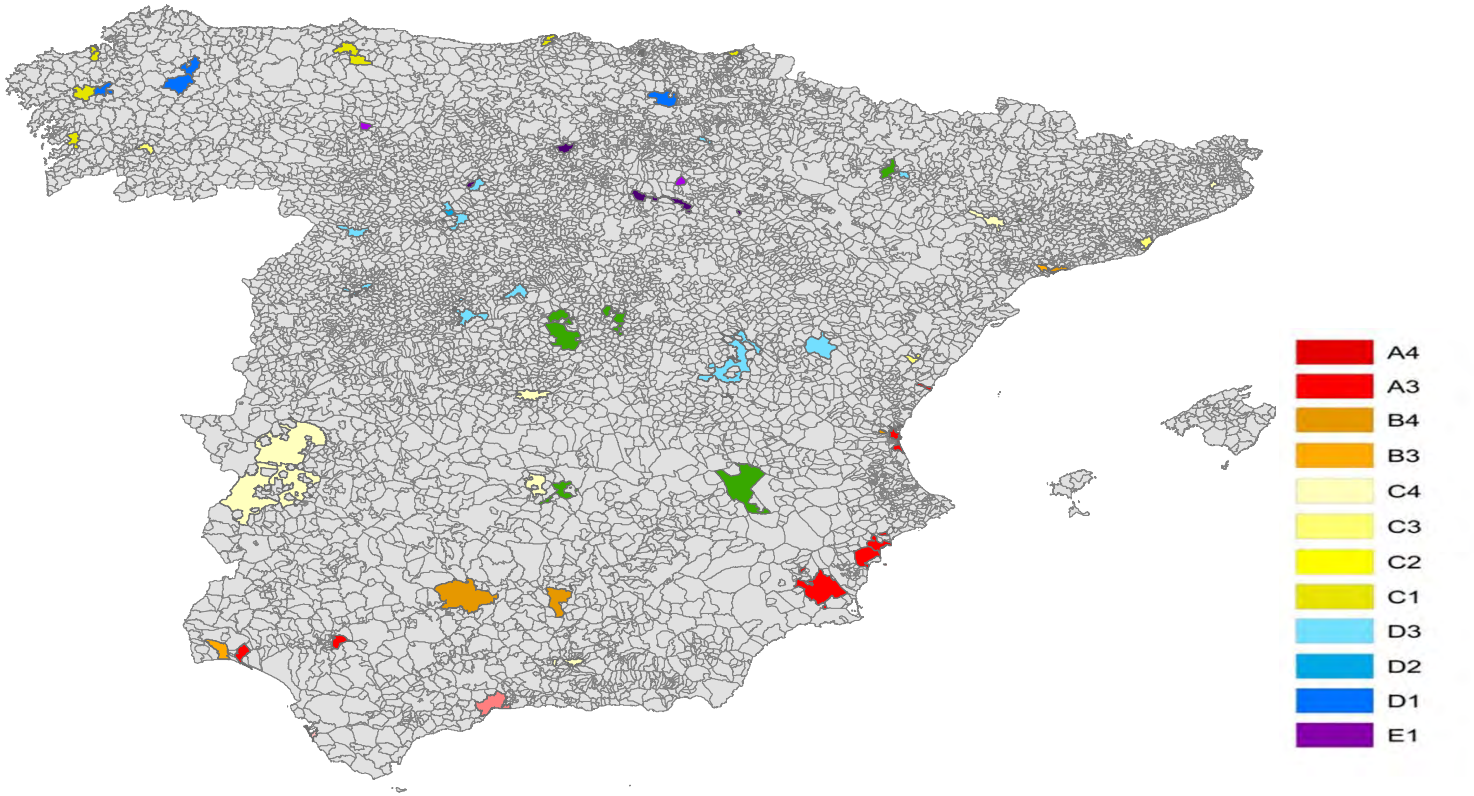
# NUEVA CALIFICACIÓN Y DINAMICA DE CAMBIOS

| CIUDAD | Zonas Climáticas del CTE | Recalificación de zonas climáticas estado actual | Recalificación de zonas climáticas RCP 4.5 año 2085 | Recalificación de zonas climáticas RCP 8.5 año 2085 |
|---|---|---|---|---|
| A CORUÑA | C1 | C1 | B1 | A2 |
| ALBACETE | D3 | D4 | B4 | B4 |
| ALICANTE | B4 | A4 | α4 | α4 |
| ÁVILA | E1 | D3 | C3 | C4 |
| BADAJOZ | C4 | C4 | A4 | A4 |
| BARCELONA | D2 | C3 | A4 | A4 |
| BILBAO | C1 | C1 | B2 | B3 |
| BURGOS | E1 | E2 | D2 | C3 |
| CÁCERES | C4 | C4 | A4 | A4 |
| CÁDIZ | A3 | α4 | α4 | α4 |
| CASTELLÓN | B3 | A4 | α4 | A4 |
| CIUDAD REAL | D3 | C4 | B4 | A4 |
| CÓRDOBA | C4 | B4 | B4 | A4 |
| CUENCA | D2 | D3 | C4 | B4 |
| GIRONA | D2 | C4 | B4 | A4 |
| GRANADA | C3 | C4 | C4 | B4 |
| GUADALAJARA | D3 | D4 | B4 | B4 |
| HUELVA | A4 | A4 | A4 | α4 |
| HUESCA | D2 | D4 | B4 | A4 |
| JAÉN | C4 | B4 | B4 | A4 |
| LEÓN | E1 | E1 | C3 | C4 |
| LLEIDA | D3 | C4 | B4 | A4 |
| LOGROÑO | D2 | D3 | C3 | B4 |
| LUGO | D1 | D1 | C2 | B3 |
| MADRID | D3 | D4 | B4 | A4 |
| MÁLAGA | A3 | α4 | α4 | α4 |
| MÉRIDA | C4 | C4 | B4 | A4 |
| MURCIA | C3 | A4 | α4 | α4 |
| OURENSE | D2 | C3 | B4 | B4 |
| OVIEDO | D1 | C1 | C1 | B2 |
| PALENCIA | D1 | D3 | C3 | C4 |
| PONTEVEDRA | C1 | C1 | B3 | B3 |
| REUS | C3 | B3 | A4 | α4 |
| SALAMANCA | D2 | D3 | C4 | B4 |
| SAN FERNANDO | A3 | α3 | α4 | α4 |
| SAN SEBASTIÁN | D1 | C1 | C1 | B2 |
| SANTANDER | C1 | C1 | B2 | B3 |
| SANTIAGO DE COMPOSTELA | D1 | C1 | B2 | B3 |
| SEGOVIA | D2 | D3 | C3 | B4 |
| SEVILLA | B4 | A4 | A4 | α4 |
| SORIA | E1 | E2 | D3 | C4 |
| TARRAGONA | B3 | B4 | A4 | α4 |
| TERUEL | D2 | D3 | C3 | B4 |
| TOLEDO | C4 | C4 | B4 | A4 |
| VALENCIA | B3 | A4 | α4 | α4 |
| VALLADOLID | D2 | D3 | C4 | B4 |
| VITORIA/FORONDA | D1 | D1 | C2 | C3 |
| ZAMORA | D2 | D3 | C4 | B4 |

3

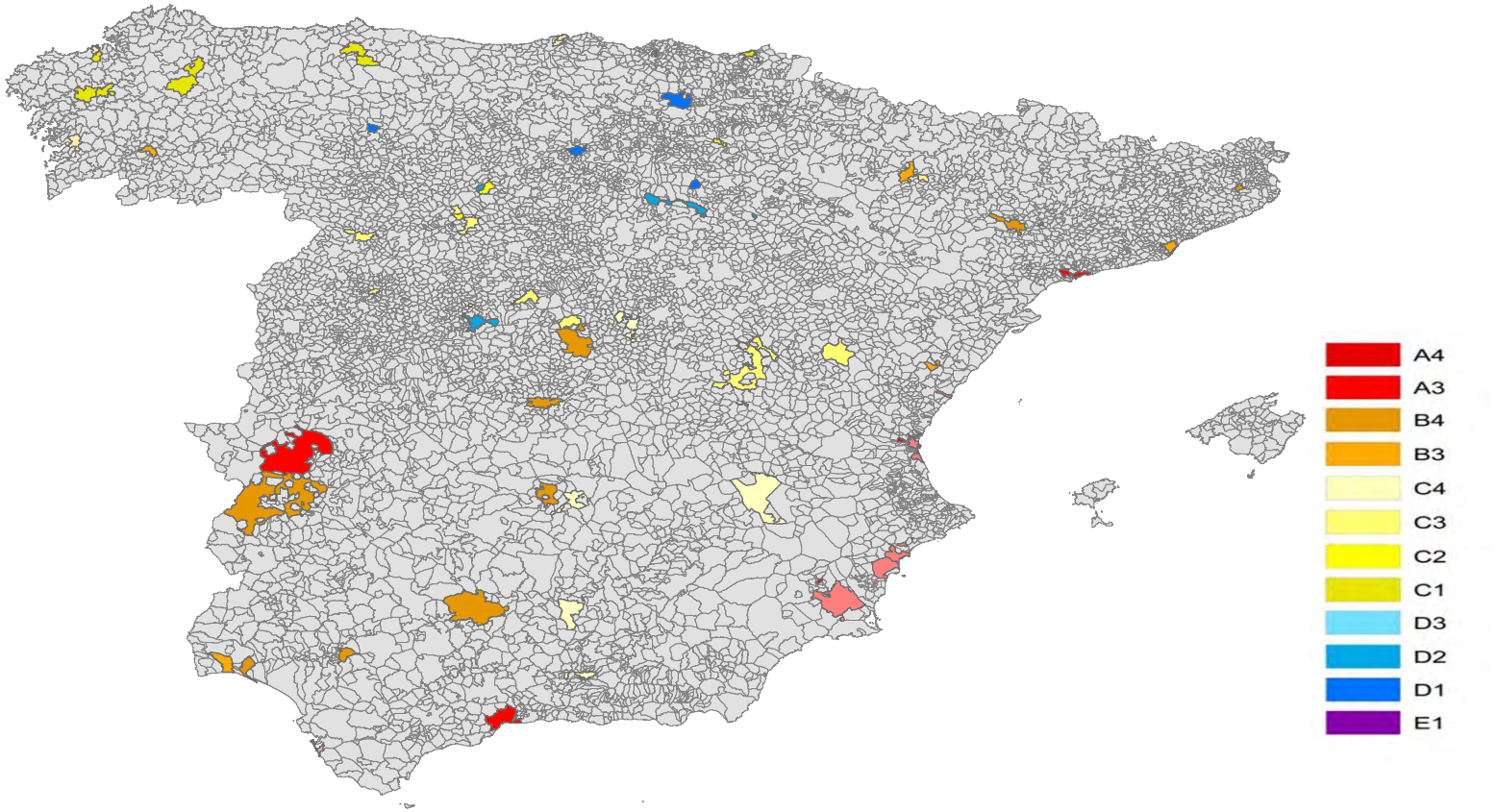
## NUEVA CALIFICACIÓN Y DINAMICA DE CAMBIOS

# RECALIFICACIÓN DE ZONAS CLIMATICAS
## capitales de provincia

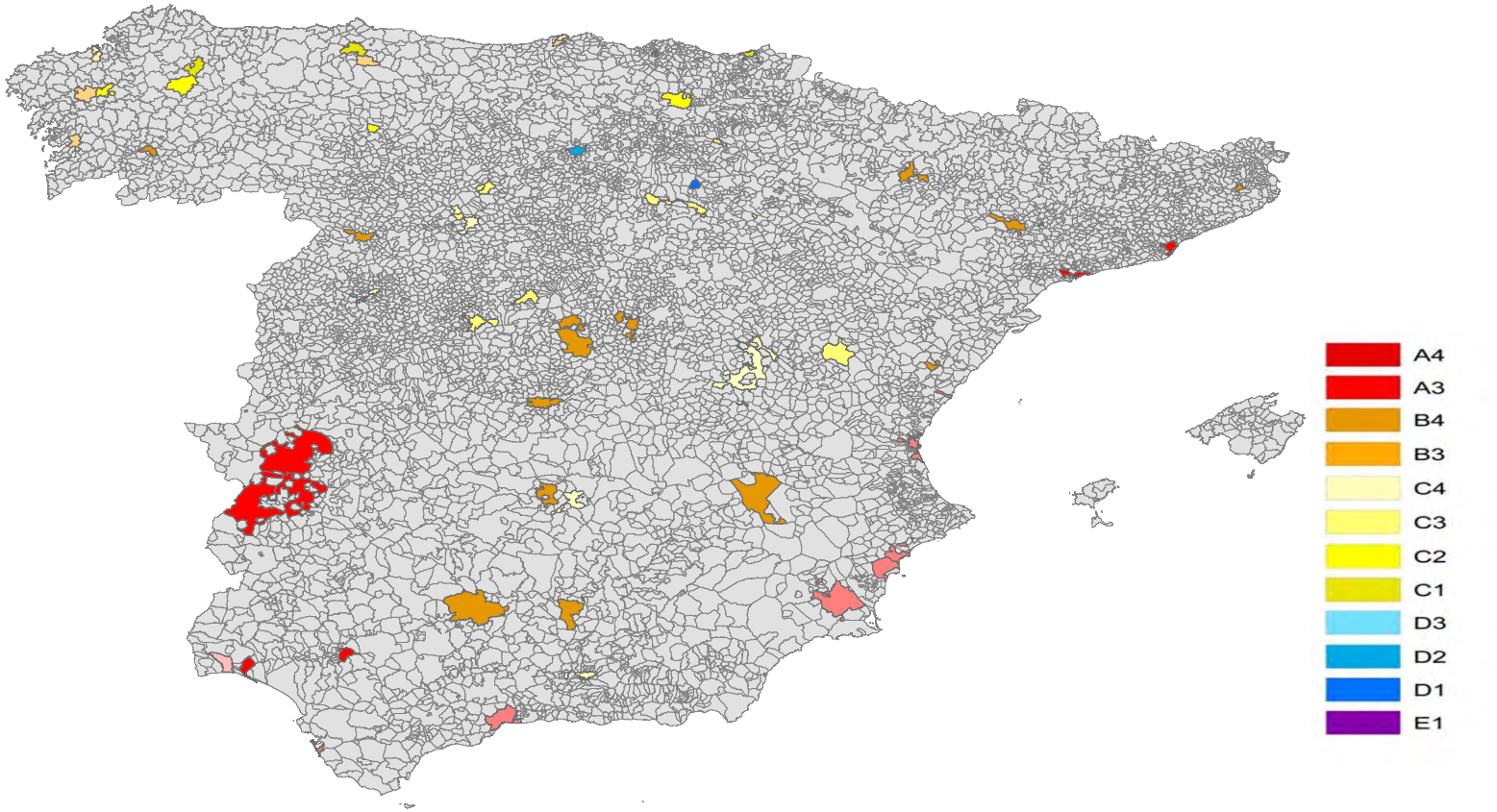


## 3 NUEVA CALIFICACIÓN Y DINAMICA DE CAMBIOS

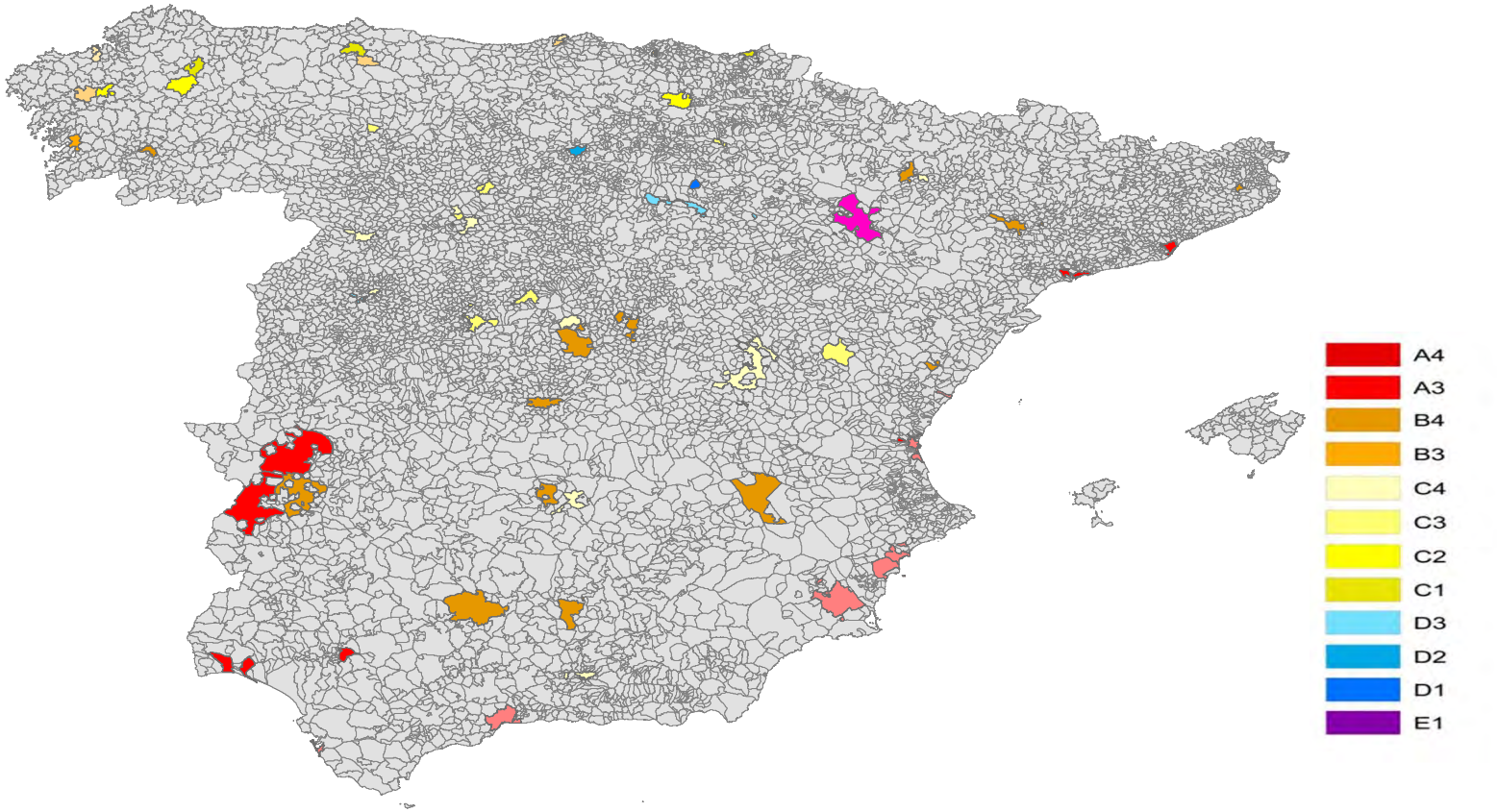
# DINAMICA DE CAMBIOS RCP_4.5_2025



# DINAMICA DE CAMBIOS RCP_4.5_2055

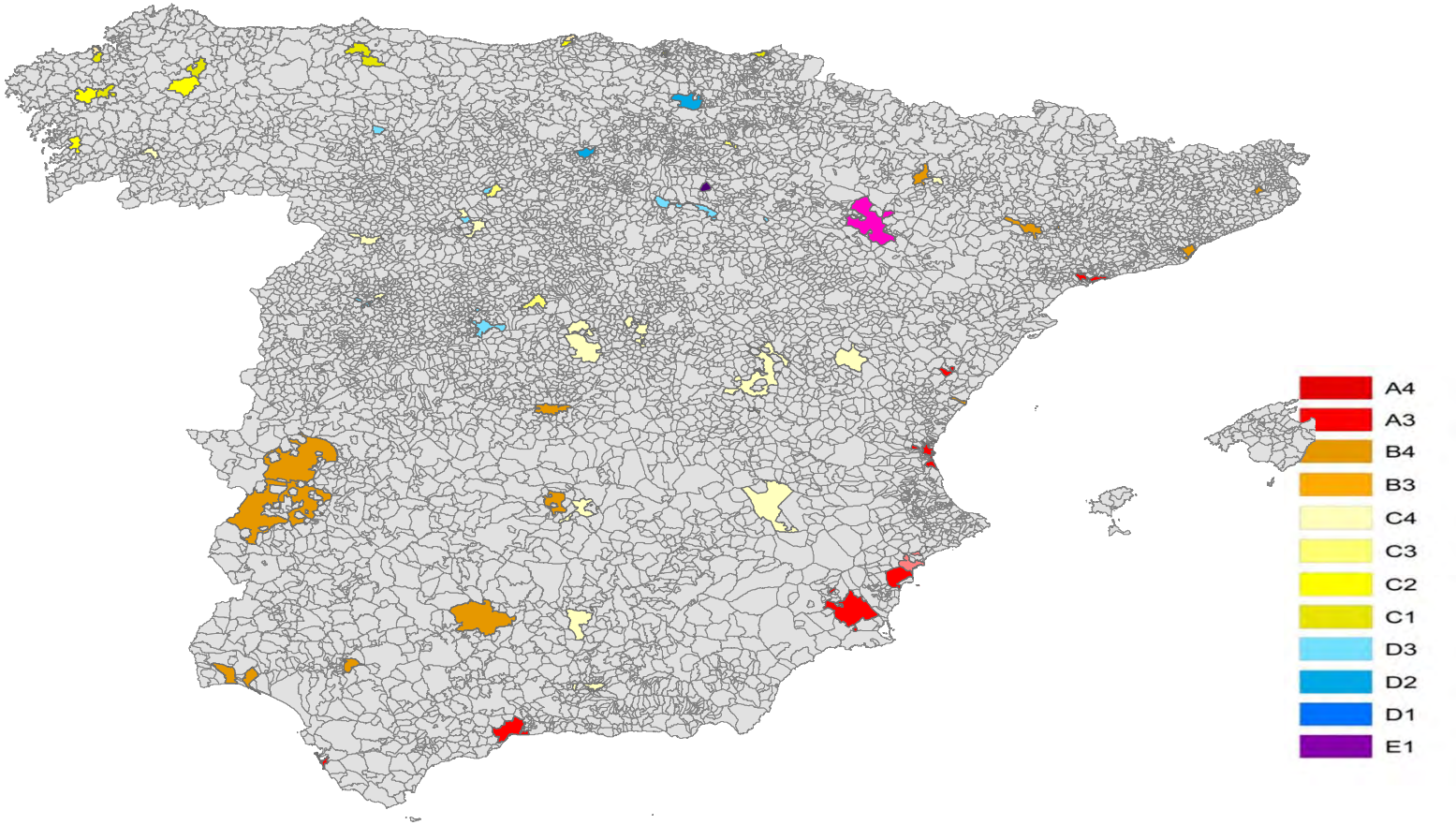


# DINAMICA DE CAMBIOS RCP_4.5_2085



## 3 NUEVA CALIFICACIÓN Y DINAMICA DE CAMBIOS

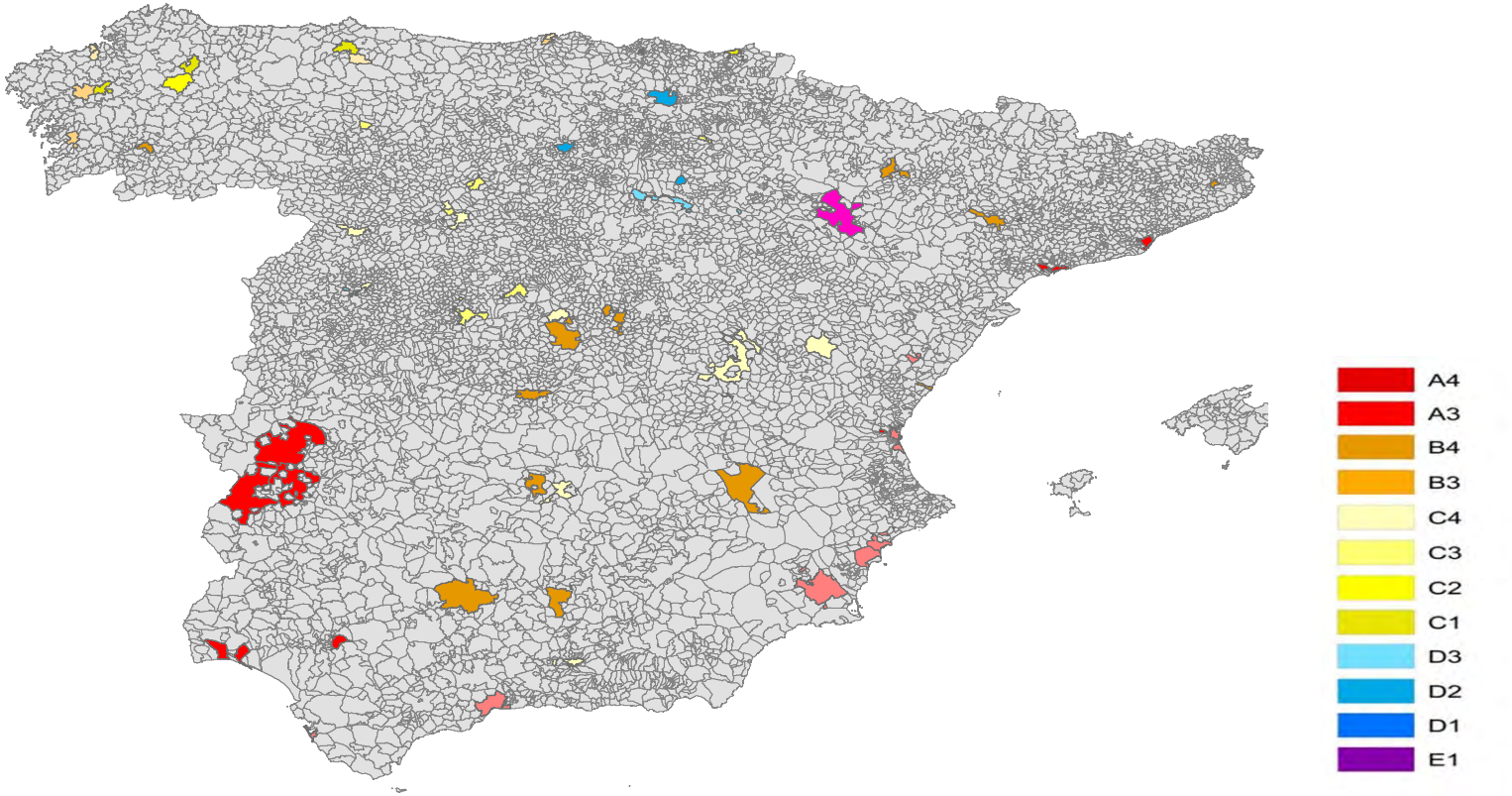
# DINAMICA DE CAMBIOS RCP_8.5_2025



3

## NUEVA CALIFICACIÓN Y DINAMICA DE CAMBIOS

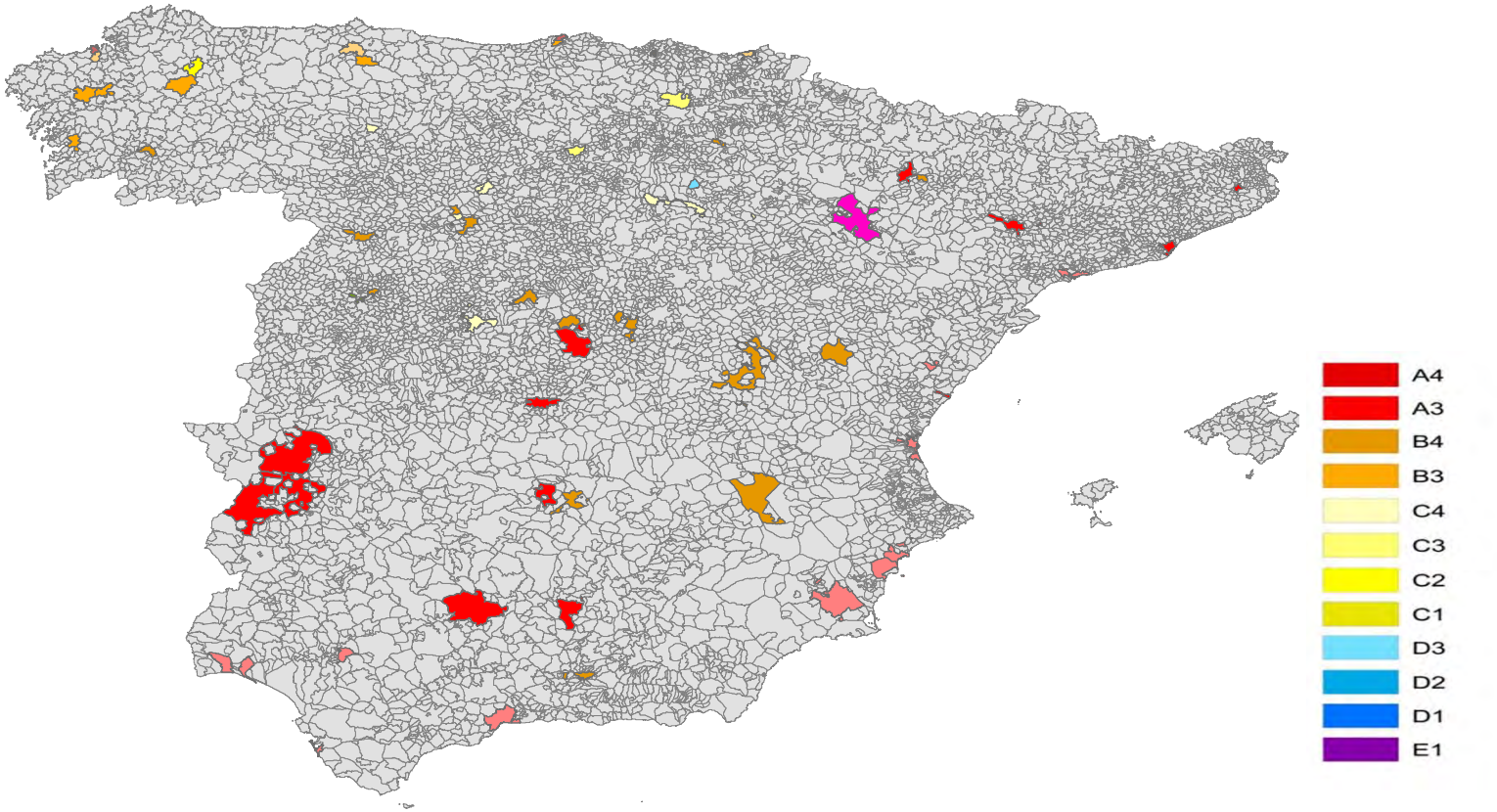
# DINAMICA DE CAMBIOS RCP_8.5_2055



3

## NUEVA CALIFICACIÓN Y DINAMICA DE CAMBIOS

# DINAMICA DE CAMBIOS RCP_8.5_2085



# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Con el apoyo:

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Fundación Biodiversidad
20 AÑOS
PIMA adapta
oecc
Oficina Española de Cambio Climático
UNIVERSIDAD DE GRANADA
The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Evaluación de las zonas climáticas utilizadas en España y Dinámica de cambios en el H2100. Adaptación de la edificación.

**C. Díaz-López[1], K. Verichev[2], J.A. Holgado-Terriza[3], M.L. Rodríguez[4] y M. Zamorano[5]**

1 Departamento de Ingeniería Civil, ETS Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Granada, Campus Fuentenueva S/N, 18071, Granada, España; carmendiaz@ugr.es
2 Instituto de Ingeniería Civil, Universidad Austral de Chile, Campus Miraflores , 11000 5090000, Valdivia, Chile; konstantin.verichev@uach.cl
3 Departamento de Lenguaje y Sistemas Informáticos, ETS Ingeniería Informática, Universidad de Granada, Calle Pdta. Daniel Saucedo Aranda S/N, 18014; jholgado@ugr.es
4 Departamento de Matemática aplicada, Facultad de ciencias, Universidad de Granada, Campus de Fuentenueva S/N, 18071 Granada, España; miguelrg@ugr.es
5 Departamento de Ingeniería Civil, ETS Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Granada, Campus Fuentenueva S/N, 18071, Granada, España; zamorano@ugr.es

La clasificación de zonas climáticas en España aplicadas a la edificación queda recogida en el Código Técnico de la Edificación (CTE). Como consecuencia del cambio climático las condiciones meteorológicas reales no se corresponden con la zona climática teórica en la que se encuentra y bajo la cual son diseñados los edificios. Por ello, el objetivo principal de este trabajo es la propuesta de una nueva clasificación y distribución geográfica de zonas climáticas, así como su dinámica de cambios en el H2100. La metodología desarrollada consta de un doble análisis; primero calculamos los índices de severidad climática para verano e invierno utilizando grados-día de refrigeración y calefacción, valores de insolación mensual e insolación máxima de los últimos 3 años de 78 estaciones meteorológicas de la Agencia Estatal de Meteorología en España (AEMET). Después, los resultados han sido contrastados con la actual clasificación de zonas climáticas del CTE. En segunda fase se han recalificado las actuales zonas climáticas de la península, en base a los escenarios RCP 8.5 y RCP 4.5 del cambio climático, orientadas al cumplimiento de las prestaciones higrotérmicas de la edificación. Este trabajo supone una importante contribución científica ya que proporciona a los investigadores y profesionales de la edificación, información que permitirá hacer predicciones sobre el cambio climático, pero también adaptar las bases del diseño de la edificación a los cambios futuros, mitigando así sus efectos y optimizando en consumo energético derivado de los mismos.

**Palabras clave:** zonas climáticas, cambio climático, Código Técnico de la Edificación, adaptación

## 1. INTRODUCCIÓN

El modelo actual de producción-consumo ha derivado en un importante incremento de los impactos ambientales, como la producción de residuos, contaminación de aguas, agotamiento de la capa de ozono y acidificación (Hu et al., 2017) , unido a un agotamiento de los recursos naturales (Tõnurist, 2015) y a la aceleración del cambio climático, entre otros. Este cambio climático por su dimensión global, social y económica se irá acentuando cada vez más en las próximas décadas debido al efecto retardado de las emisiones de Gases de efecto invernadero (GE), así como a la modificación en los patrones climáticos globales o regionales atribuidos en gran medida al aumento de los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en su *Quinto Informe de Evaluación* (AR5) (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2014), informó que las emisiones antropógenas acumuladas de gases de efecto invernadero (GEI) desde la era preindustrial han experimentado grandes aumentos en las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono ($CO_2$), metano ($CH_4$) y óxido nitroso ($N_2O$), no teniendo precedentes, al menos, en los últimos 800.000 años (IPCC, 2014). Basándose en estos datos se pronostica un aumento en la temperatura media mundial para el año 2100 dentro del rango 1.4 a 5.8 °C (Houghton JT et al., 2001). Existen datos que aseguran que está tendencia se irá acentuando cada vez más en las próximas décadas, debido al efecto retardado de las emisiones de GEI ya generadas, así como, a la presencia de gases y aerosoles de vida corta en proceso de transformación fisicoquímica que actúan como impulsores atmosféricos del Cambio, afectando al balance energético de la Tierra.

Como respuesta a esta problemática, son diversas las acciones que se están llevando a cabo en diferentes países, todas ellas destinadas a frenar los graves impactos ambientales generados por la actividad humana. Entre ellas se destacan: el *Protocolo de Kioto*, aprobado en diciembre de 1997 en Kioto e impulsado por la Organización de Naciones Unidas (ONU) como respuesta a la amenaza que suponía el cambio climático; apoyado inicialmente por 156 países industrializados, que se comprometieron a ejecutar un conjunto de medidas dirigidas a reducir la emisión de GEI, pactando una reducción de, al menos, el 5,2% de sus emisiones respecto a los niveles de 1990, en el período de 2008 a 2012 (Naciones Unidas, 1998); el *Acuerdo de París sobre cambio climático* (CMNUCC, 2015), firmado en el año 2015 y apoyado por 195 países, establece medidas para la reducción de las emisiones de GEI a través de la mitigación, adaptación y resiliencia de los ecosistemas a efectos del calentamiento global; el Paquete de Economía Circular impulsado por la Unión Europea, que incluye nuevas medidas para impulsar la competitividad, crear empleo y generar un crecimiento sostenible; los 17 objetivos de desarrollo sostenible, que incluye estos objetivos de aplicación universal que rigen los esfuerzos de los países para lograr un mundo sostenible en el año 2030 (Naciones Unidas, 2016); así como otras numerosas políticas internacionales que pretenden garantizar la eficiencia de los recursos y responder a las preocupaciones ambientales y socioeconómicas para la gestión sostenible de los recursos naturales (Mancini, Benini, & Sala, 2015).

Los principales escenarios del cambio climático se basan en la teoría del cambio del valor del Forzamiento Radiactivo (FR) en el año 2100 [6], en base a los cuales se pronostica un aumento en la temperatura media mundial para el año 2100 dentro del rango 1.4 a 5.8 °C; en dónde se plantean diversos escenarios para finales de este siglo:

- RCP8.5 – valor de FR aumenta constantemente a 8.5 W/m2 (±5%) en 2100 con nivel promedio mundial de concentración CO2 ≈ 1370 ppm.

- RCP6.0 – valor de FR estabilizado después de 2100 y no supera más de 6 W/m2 (±5%); en 2100 nivel promedio mundial de concentración CO2 ≈ 850 ppm.
- RCP4.5 – valor de FR estabilizado después de 2100 y no supera más de 4.5 W/m2 (±5%); en 2100 nivel promedio mundial de concentración CO2 ≈ 650 ppm.

Estos datos implican la necesidad imperativa de la adaptación de todos los sectores a las repercusiones actuales y futuras de este fenómeno térmico.

La industria de la construcción y la precipitada edificación de las áreas urbanas, se ha convertido en uno de los principales sectores de aceleración del cambio climático y el agotamiento de los recursos naturales. Este sector económico es responsable del 40-50% de todo el uso de energía, que ha duplicado su consumo entre 1973-2012 (Carpio, 2015), consumir el 30% de materias primas, el 25% del agua global y el 17% de las extracciones mundiales de agua dulce; 12% del suelo, y generar el 25% de los residuos sólidos a nivel mundial y el 40% de residuos sólidos en los países desarrollados (Yılmaz & Bakış, 2015). Estos datos ponen de manifiesto la especial responsabilidad en el deterioro del medio ambiente resultante. Los efectos del cambio climático, y la escasez de recursos está dando lugar a una mayor concienciación, tanto de los ciudadanos como de los proyectistas, de los problemas medioambientales generados por la edificación.

Toda esta problemática ha llevado a autoridades, organizaciones, profesionales y ciudadanos, a apostar por una industria de la construcción sostenible, con la finalidad de abordar los problemas ambientales y de salud que surgen de los edificios, reducir los impactos del sector en el medio ambiente natural, así como en las personas y las huellas ambientales del entorno construido; bajo las tres dimensiones, ambiental, social y económica, que constituyen el marco de referencia de la filosofía del desarrollo sostenible. Consecuentemente una construcción sostenible, es clave para mitigar los efectos negativos del cambio climático, así como prever los efectos adversos minimizando los daños a medio y largo plazo; adoptando soluciones que no solo lo mitiguen sino que se adapten a los diferentes escenarios a lo largo del tiempo, lo que implica la necesidad de adaptar la edificación al contexto climático actual y que está por venir. Esta nueva concepción de arquitectura cada vez más sostenible precisa, en consecuencia, de una nueva definición de zonas climáticas que tenga en cuenta un mayor número de aspectos ambientales que afectan al edificio, en cuanto a la durabilidad, materialidad, flexibilidad o adaptabilidad, entre otros.

Concretamente en el caso de España, en las últimas décadas se ha dado respuesta al problema del rendimiento energético; así el Código Técnico de la Edificación (CTE), marco de referencia normativo a través del cual quedan reguladas las exigencias básicas de ahorro energético en los edificios, limitando la demanda energética en función de la zona climática de la localidad en la que se ubican y del uso previsto. En el CTE existen 13 zonas climáticas en función de las severidades climáticas de invierno (A, B, C, D, E) y verano (1, 2, 3, 4) de la localidad en cuestión, como se observa en la figura 1, que se determinan según valores de temperatura, radiación, humedad y altitud.

Hasta la fecha, estas zonas climáticas de referencia en nuestro país están dirigidas, únicamente, al diseño de una edificación eficiente energéticamente, pero no sostenible. Por una parte, parten de datos climáticos obsoletos y descontextualizados del contexto urbano; y por otra parte teniendo en cuenta que la vida útil del edificio son 50 años, solo mitigan el cambio climático, pero no se adaptan al mismo.

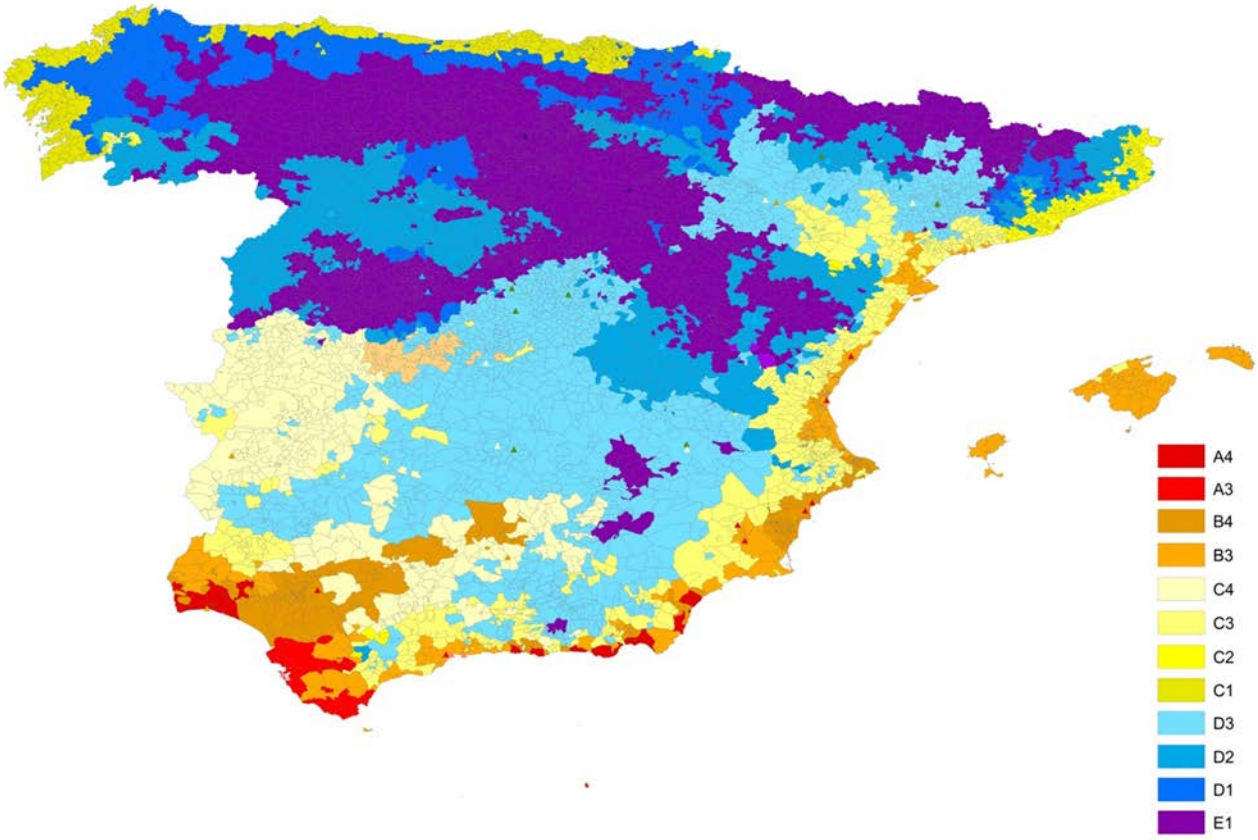



***Figura 1**. Calificación de zonas climáticas del CTE*

Consecuentemente es imprescindible la necesidad de elaborar ya una política de adaptación, en el sector de la construcción, que nos prepare para minimizar los impactos negativos y aprovechar en su caso los positivos, en un ejercicio de reflexión sobre las capacidades actuales y las posibilidades de mejoras, así como para soportar nuevas presiones o aprovechar nuevas oportunidades en los sectores socioeconómicos.

Por ello, el objetivo principal de esta investigación es la propuesta de una nueva clasificación de zonas climáticas en España, que mitigue los efectos del cambio climático y se adapte a los futuros escenarios del H2100. Este trabajo supone una importante contribución científica ya que proporciona a los investigadores y profesionales de la edificación, información que permitirá hacer predicciones sobre el cambio climático, pero también adaptar las bases del diseño de la edificación a los cambios futuros, mitigando así sus efectos y optimizando en consumo energético derivado de los mismos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODO

Para lograr los objetivos de este estudio, se realizó la recalificación de las zonas climáticas del Código Técnico de la Edificación, orientadas al cumplimiento de las prestaciones higrotérmicas de la edificación, y la adaptación de las mismas al escenario RCP 4.5 y RCP 8.5 del cambio climático; a través de las siguientes fases: (i) identificación de las estaciones meteorológicas y recopilación de datos y procesado; (ii) cálculo de grados-día de calefacción y refrigeración; (iii) calculo del índice

de Severidad climática de verano (SCV) y de invierno (SCI); (iv) recalificación de zonas climáticas, y finalmente (v) evaluación de la dinámica de cambios de las zonas climáticas.

### 2.1. Identificación de las estaciones meteorológicas y recopilación de datos y procesado.

En este trabajo se ha utilizado el Osisoft para la gestión de eventos y datos en tiempo real. Una arquitectura altamente escalable y confiable que está presente en todas las etapas del proceso de administración de datos: recolección, almacenamiento, manejo y auditoría. Incluye una gran cantidad de interfaces de software front-end realmente apropiadas para la construcción, gestión y visualización de los puntos de datos del sistema. Para auditar los cálculos tomados en cuenta en esta investigación y la hipótesis presentada, se ha diseñado y construido una base de datos confiable y adaptable basada en los datos meteorológicos proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Para la construcción de esta base de datos, se han logrado diferentes abstracciones entre los puntos de datos sin procesar y los activos. Dada la alta escalabilidad del sistema, esta base de datos podría usarse en el futuro para futuras investigaciones basadas en los resultados arrojados en esta investigación. El diseño de la base de datos consta de tres fases distintas: las etapas de definición de activos y atributos, importación de datos, análisis y exportación de datos.

### 2.2. Cálculo de grados-día de calefacción y refrigeración.

Se utilizaron dos parámetros, para identificar las zonas climáticas, (a) grados-día de refrigeración (CDD) y (b) grados-día de calefacción (HDD). Grados-día es un indicador climático universal que se utiliza para calcular el consumo de energía de las viviendas y la emisión de gases de efecto invernadero como resultado del calentamiento y enfriamiento de las viviendas.

### 2.3 Calculo del índice de Severidad climática de verano (SCV) y de invierno (SCI).

El cálculo del índice de severidad climática se desarrolla en base a los valores climáticos de la temperatura del aire y la radiación solar en 48 ciudades de España y 78 estaciones meteorológicas del área de estudio para los períodos de verano e invierno para los años 2015, 2016 y 2017; y en base a las directrices del CTE. La severidad climática de verano se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$SCV = a \cdot CDD20_{jun\text{-}sep} + b \cdot CDD20_{jun\text{-}sep}{}^{2} + c$$

Dónde, $CDD20_{jun\text{-}sep}$ es la suma de los grados-día de refrigeración en base de 20°C para los meses que van desde junio a septiembre y a, b, c son los coeficientes de regresión.

La severidad climática de invierno se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$SCI = a \cdot HDD20_{oct-m} \quad + b \cdot \frac{n}{N} + c \cdot HDD20_{oct-may}{}^{2} + d \cdot \left(\frac{n}{N}\right)^{2} + e$$

Donde, $HDD20_{oct-may}$ es la suma de los grados-día de calefacción en base 20°C para los meses que van desde octubre a mayo. n/N - es el cociente entre número de horas de sol y el número de horas de sol máximas, sumadas cada una de ellas por separado para los meses que van desde octubre a mayo. a, b, c, d, e son los coeficientes de regresión.

### 2.4 Recalificación de zonas climáticas

La zonificación climática de invierno y de verano parte de la aplicación de las expresiones anteriores, para obtener la severidad climática de invierno y la severidad climática de verano. Una vez obtenidos los índices de severidad climática de verano e invierno se recalifica el código de zona climática para 48 ciudades en base a los datos de 78 estaciones. La zona climática de invierno se determina en función de la severidad climática de invierno (SCI), correspondiendo cada zona climática de invierno del DB-HE (α, A, B, C, D y E) al intervalo indicado en la Tabla I.

***Tabla I**: Intervalos para la zonificación de invierno*

| α | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| SCI ≤ 0 | 0 < SCI ≤ 0, 23 | 0, 23 < SCI ≤ 0, 5 | 0, 5 < SCI ≤ 0, 93 | 0, 94 < SCI ≤ 1, 51 | SCI > 1, 51 |

La zona climática de verano se determina en función de la severidad climática de verano (SCV), correspondiendo cada zona climática de verano del DB-HE (1, 2, 3, 4) al intervalo indicado en la Tabla II.

***Tabla II**: Intervalos para la zonificación de verano*

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| SCV ≤ 0, 5 | 5 < SCV ≤ 0 | 0, 83 < SCV ≤ 1, 38 | SCV > 1, 38 |

### 2.5 Evaluación de la dinámica de cambios de las zonas climáticas

Finalmente, una vez recalificada las zonas climáticas, en base a los datos climáticos obtenidos de las proyecciones para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, se pronostica la dinámica de cambios para la zona climáticas de cada una de las 48 ciudades. Esta evaluación conlleva la misma metodología descrita en la sección anterior con el objetivo de analizar la evolución de los índices severidad climática de verano e invierno de las 78 estaciones meteorológicas.

## 3. RESULTADOS

A continuación, se analizan los resultados arrojados para 48 ciudades de la Península Ibérica en base a los datos obtenidos de las 78 estaciones meteorológicas de la Agencia estatal de Meteorología, así como, su dinámica de cambios para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

Como podemos observar en la tabla III, 33 de las 48 ciudades han visto modificada su calificación climática en base a la metodología descrita en la sección anterior. La tabla III muestra como no existe correlación en función de la localización o proximidad al mar. En lo referente a la evolución de las zonas climáticas, podemos observar como para el escenario RCP 4.5, año 2085 ninguna de las 48 ciudades ha mantenido su calificación climático, sin embargo para el escenario RCP 8.5 solo 5 de ellas han mantenido su zona climática.

***Tabla III**: Evolución de las zonas climáticas*

| CIUDAD | Zonas Climáticas del CTE | Recalificación de zonas climáticas estado actual | Recalificación de zonas climáticas RCP 4.5 año 2085 | Recalificación de zonas climáticas RCP 8.5 año 2085 |
|---|---|---|---|---|
| A CORUÑA | C1 | C1 | B1 | A2 |
| ALBACETE | D3 | D4 | B4 | B4 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ALICANTE | B4 | A4 | α4 | α4 |
| ÁVILA | E1 | D3 | C3 | C4 |
| BADAJOZ | C4 | C4 | A4 | A4 |
| BARCELONA | D2 | C3 | A4 | A4 |
| BILBAO | C1 | C1 | B2 | B3 |
| BURGOS | E1 | E2 | D2 | C3 |
| CÁCERES | C4 | C4 | A4 | A4 |
| CÁDIZ | A3 | α4 | α4 | α4 |
| CASTELLÓN | B3 | A4 | α4 | A4 |
| CIUDAD REAL | D3 | C4 | B4 | A4 |
| CÓRDOBA | C4 | B4 | B4 | A4 |
| CUENCA | D2 | D3 | C4 | B4 |
| GIRONA | D2 | C4 | B4 | A4 |
| GRANADA | C3 | C4 | C4 | B4 |
| GUADALAJARA | D3 | D4 | B4 | B4 |
| HUELVA | A4 | A4 | A4 | α4 |
| HUESCA | D2 | D4 | B4 | A4 |
| JAÉN | C4 | B4 | B4 | A4 |
| LEÓN | E1 | E1 | C3 | C4 |
| LLEIDA | D3 | C4 | B4 | A4 |
| LOGROÑO | D2 | D3 | C3 | B4 |
| LUGO | D1 | D1 | C2 | B3 |
| MADRID | D3 | D4 | B4 | A4 |
| MÁLAGA | A3 | α4 | α4 | α4 |
| MÉRIDA | C4 | C4 | B4 | A4 |
| MURCIA | C3 | A4 | α4 | α4 |
| OURENSE | D2 | C3 | B4 | B4 |
| OVIEDO | D1 | C1 | C1 | B2 |
| PALENCIA | D1 | D3 | C3 | C4 |
| PONTEVEDRA | C1 | C1 | B3 | B3 |
| REUS | C3 | B3 | A4 | α4 |
| SALAMANCA | D2 | D3 | C4 | B4 |
| SAN FERNANDO | A3 | α3 | α4 | α4 |
| SAN SEBASTIÁN | D1 | C1 | C1 | B2 |
| SANTANDER | C1 | C1 | B2 | B3 |
| SANTIAGO DE COMPOSTELA | D1 | C1 | B2 | B3 |
| SEGOVIA | D2 | D3 | C3 | B4 |
| SEVILLA | B4 | A4 | A4 | α4 |
| SORIA | E1 | E2 | D3 | C4 |
| TARRAGONA | B3 | B4 | A4 | α4 |
| TERUEL | D2 | D3 | C3 | B4 |
| TOLEDO | C4 | C4 | B4 | A4 |
| VALENCIA | B3 | A4 | α4 | α4 |
| VALLADOLID | D2 | D3 | C4 | B4 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| VITORIA/FORONDA | D1 | D1 | C2 | C3 |
| ZAMORA | D2 | D3 | C4 | B4 |

## 4. DISCUSION

En España el CTE (Código Técnico de la Edificación) presenta una clasificación de zonas climáticas a nivel nacional enfocada al ahorro energético y que divide el territorio en 13 zonas climáticas. La metodología que se llevó a cabo fue de acuerdo a una variable definida para esta zonificación en concreto, la severidad climática, que distingue entre las condiciones de verano e inverno.

La metodología empleada trata de crear relaciones entre los elementos climatológicos y su repercusión en el medio. Mediante el tratamiento de los datos, estableciendo diversos índices en busca de homogeneizar criterios que se utilicen para establecer zonas de características climáticas similares.

Los resultado muestran la necesidad de adaptar las zonas climáticas del Código Técnico de la Edificación a los escenarios del Horizonte 2100, a fin de conseguir una edificación ciertamente sostenible.

## 5. CONCLUSIONES

La situación geográfica de España dota al territorio de una notable variedad climática debido a sus características orográficas, el continuo movimiento de circulación atmosférica y su posición entre dos grandes volúmenes de agua. Estos factores climáticos generan que exista una gran diferencia de temperatura y precipitación en diferentes regiones del territorio.

Se agudiza así la importancia del desarrollo de clasificaciones climáticas en España donde es clave el ordenamiento del territorio en torno al clima. Varias de las zonificaciones implantadas a nivel mundial se han establecido en el país, que junto con otros modelos propios para España muestran científicamente la variedad climática presente.

El propósito de las clasificaciones climáticas ha ido evolucionando con el paso del tiempo, siendo de especial interés en los últimos años las metodologías enfocadas a fines técnicos, y más concretamente orientadas a la edificación.

Este cambio se debe principalmente a la necesidad de combatir el cambio climático, producido en parte por la construcción y la demanda energética derivada de este sector. Los modelos de predicciones establecidos por el IPCC establecen unas previsiones de cambio climático para el año 2100 para diferentes escenarios potenciales, dependiendo de su severidad (Horizonte 2100).

Como estrategia para mitigar los efectos adversos de la situación climática actual, es necesario un cambio en el enfoque de la construcción, siendo conveniente la introducción de un modelo de arquitectura sostenible y adaptada al cambio climático. Centrada en la utilización de los recursos naturales para su aprovechamiento en la mejora de las condiciones de bienestar y confort humano integrando al mismo tiempo el edificio en el entorno natural.

Las clasificaciones climáticas conducentes a estudiar la relación entre las condiciones del clima y la edificación se han desarrollado en muchos casos como instrumento de los gobiernos para marcar unas directrices arquitectónicas propias de sus respectivos territorios.

Casi la totalidad de todas las metodologías utilizadas tienen en común el rendimiento energético de las edificaciones, relacionando las variables que más afectan a la arquitectura, temperatura, radiación solar, humedad relativa y los movimientos de aire. Los procesos para elaborar las clasificaciones, aún con objetivos similares, utilizan diferentes técnicas dependiendo de la disponibilidad de datos o la extensión de la superficie a clasificar. Los grados-día es una técnica simple y aceptada en muchas clasificaciones, pero no considera la humedad o el viento, por lo que tiene limitada su exactitud.

Finalmente cabe destacar que recientemente se ha actualizado el Código Técnico de la Edificación (CTE) lo que supone la obligatoriedad de diseñar edificaciones de consumo casi nulo en el caso de nueva construcción.

## 5. AGRADECIMIENTOS

El proyecto de investigación cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica

## 6. REFERENCIAS

Carpio, M. (2015). *Tesis Doctoral*. *PhD Proposal* (Vol. 1). https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

CMNUCC. (2015). Acuerdo de París. *Cop21*, *21930*, 18.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). *Cambio climático 2014 - Informe de síntesis*.

Houghton JT, Y, D., DJ, G., M, N., PJ, van der L., X, D., … C, J. (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, 881. https://doi.org/10.1256/004316502320517344

Hu, M., Cunningham, P., & Gilloran, S. (2017). Sustainable design rating system comparison using a life-cycle methodology. *Building and Environment*, *126*(July), 410–421. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.010

IPCC. (2014). Cambio Climático 2014: Informe de síntesis / Resumen para responsables de políticas. *Cambio Climático 2014: Informe de Síntesis*, 2–38. https://doi.org/10.1016/S1353-8020(09)70300-1

Mancini, L., Benini, L., & Sala, S. (2015). Resource footprint of Europe: Complementarity of material flow analysis and life cycle assessment for policy support. *Environmental Science & Policy*, *54*(Supplement C), 367–376. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.07.025

Naciones Unidas. (1998). Protocolo de kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. *Protocolo de Kyoto*.

Naciones Unidas. (2016). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2016, 56.

Tõnurist, P. (2015). Framework for analysing the role of state owned enterprises in innovation policy management: The case of energy technologies and Eesti Energia. *Technovation*, *38*(Supplement C), 1–14. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.technovation.2014.08.001

Yılmaz, M., & Bakış, A. (2015). Sustainability in Construction Sector. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *195*, 2253–2262. https://doi.org/10.1016/J.SBSPRO.2015.06.312

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

15:50 - 17:50

**SESIÓN 6 Track A. EFICIENCIA y EDIFICACIÓN**

Modera: Isabel Cebrián. **ENDESA**

"Evaluación de las zonas climáticas utilizadas en España y dinámica de cambios en el H2100. Adaptación de la edificación" **Carmen Díaz López.** Investigadora **UNIVERSIDAD DE GRANADA**

"Redes de agua caliente y agua fría. La importancia del equilibrado garantizando las presiones diferenciales y los caudales de contrato" **José Franciso Andreu Yela.** Jefe de Ventas. **SAMSOM**

"Comparativa del consumo energético en viviendas con diferentes estándares pasiv, tras un año de implantación" **José María Guerra Romero**. Director de Expansión. **GARCÍA DE CELIS**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# Redes de agua caliente y agua fría. La importancia del equilibrado garantizando las presiones diferenciales y los caudales de contrato.

José Francisco Andreu Yela.

SAMSON

SAMSON

aee The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice


1 Equilibrado hidráulico en redes de agua caliente/fría

2 Equilibrado hidráulico de subestaciones

3 Válvulas autorreguladoras de presión diferencial

4 Valvulas reguladoras de presión diferencial y caudal

5 Válvulas de control independientes de la presión diferencial PICV

6 Sistemas de control wireless y referencias

7 Objetivos de las compañías y consumidores de district heating

Obligación legal, descarbonización de los sistemas de calefacción y refrigeración

- PROTOCOLO DE KIOTO
- ACUERDOS DE PARÍS
- TRANSICIÓN ENERGÉTICA
- MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA
- EVITAR QUE EL INCREMENTO DE Tª MEDIA DEL PLANETA SUPERE 2º

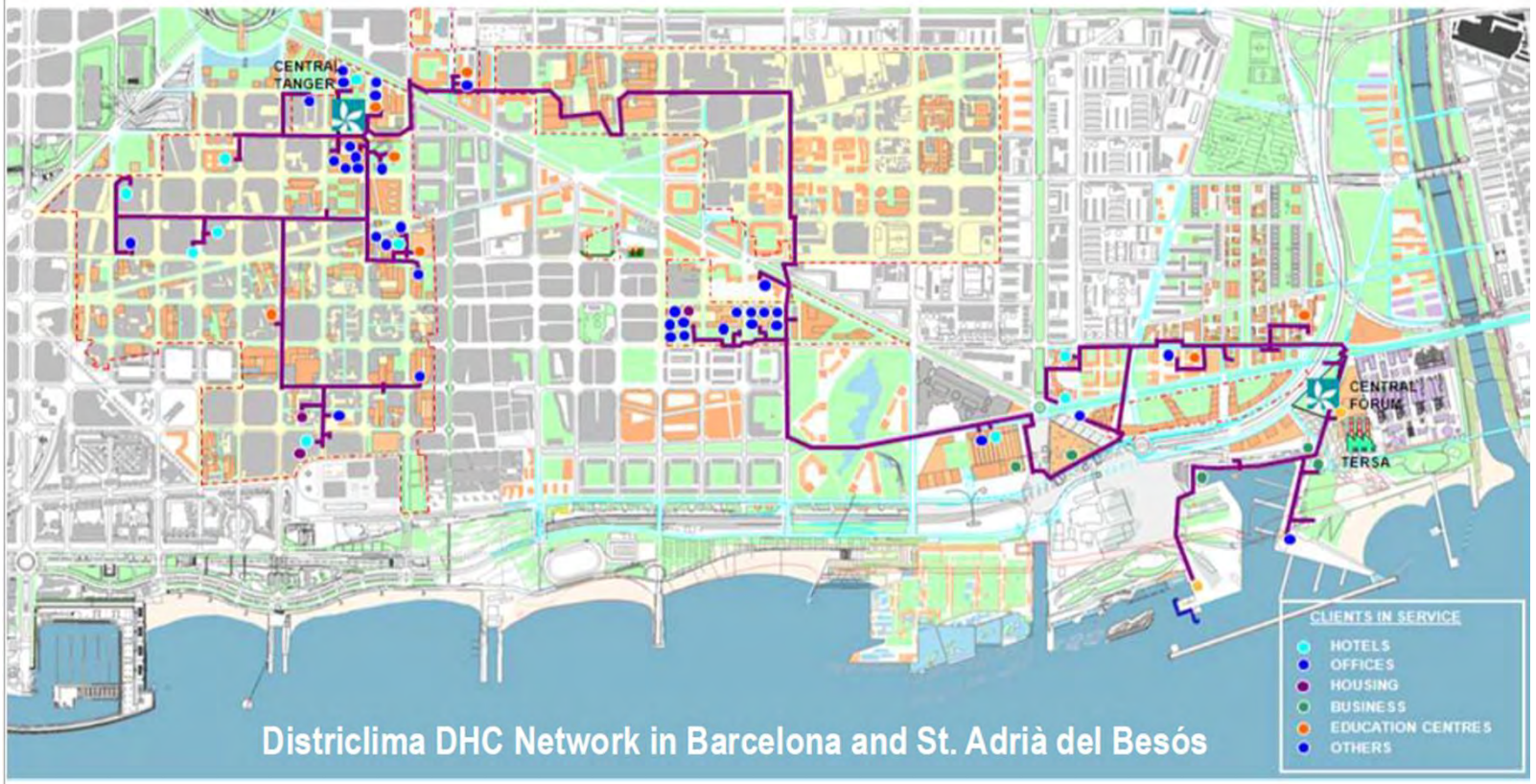
- DESCARBONIZACIÓN

- BIOMASA
- ENERGÍA TERMOSOLAR
- ENERGÍA GEOTERMICA
- APROVECHAMIENTO DEL FRIO EN VAPORIZACIÓN DEL GAS

- REDES EFICIENTES DE AGUA CALIENTE Y/O AGUA FRIA

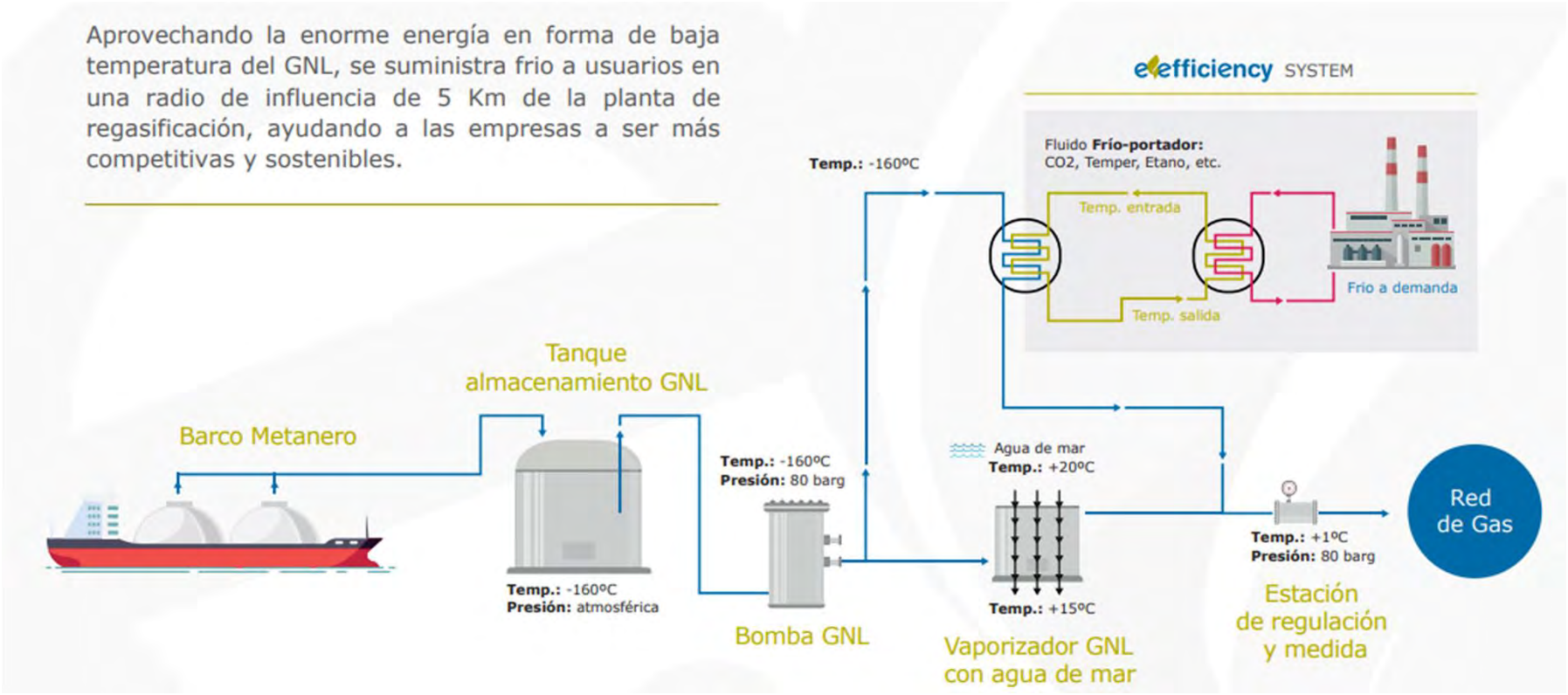
# EJEMPLOS

New built and refurbishment with District Heating & Cooling in the Mediterranean context

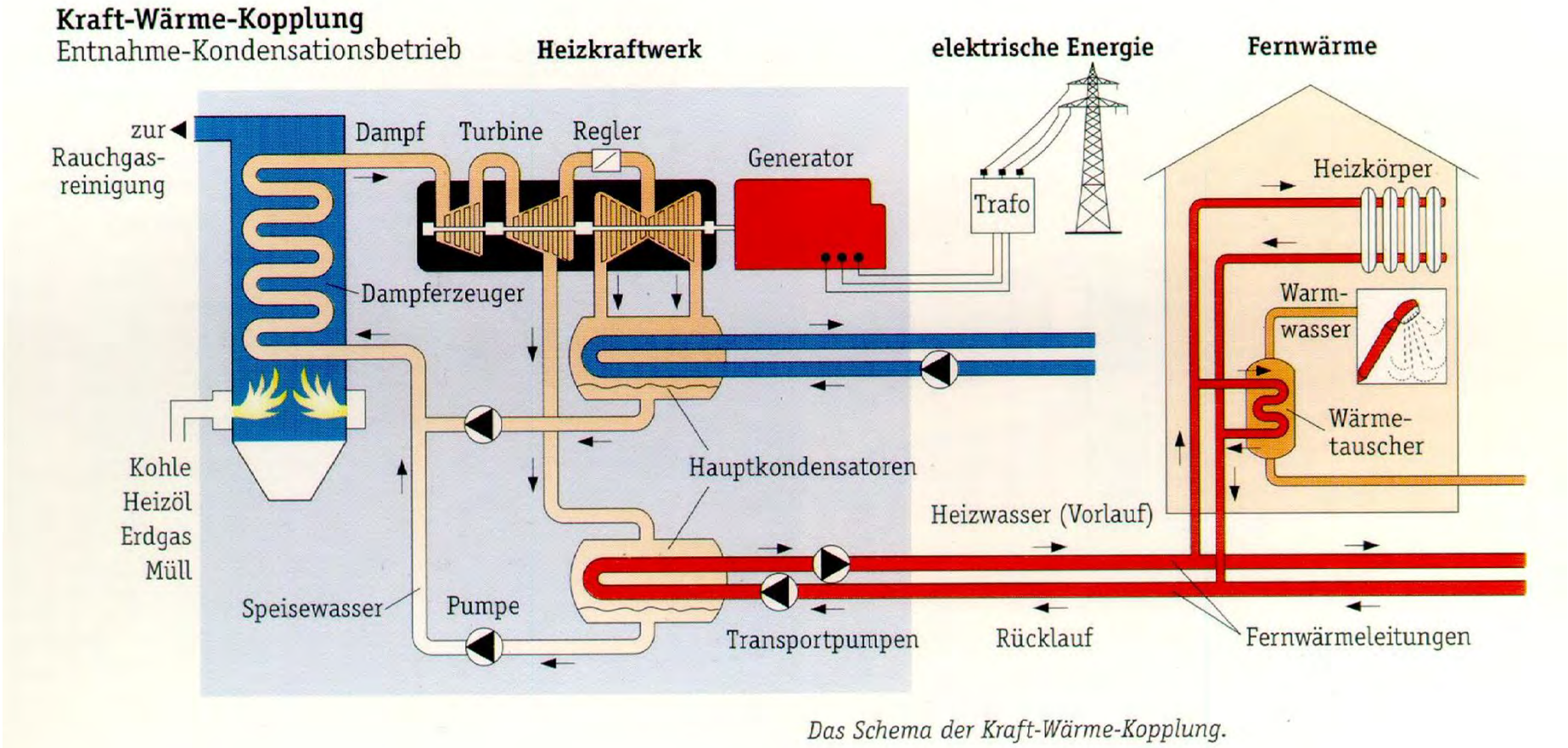


# EJEMPLO PROYECTO RED DE FRIO HUELVA

Aprovechando la enorme energía en forma de baja temperatura del GNL, se suministra frio a usuarios en una radio de influencia de 5 Km de la planta de regasificación, ayudando a las empresas a ser más competitivas y sostenibles.



# Esquema de central energética y red de calor combinados




*Das Schema der Kraft-Wärme-Kopplung.*

# Fundamentos de redes de district heating.
# Sistemas de agua caliente.

Los siguientes parámetros deben ser controlados (y asegurados) en una subestación de "distrit heating" que funciona con agua caliente:

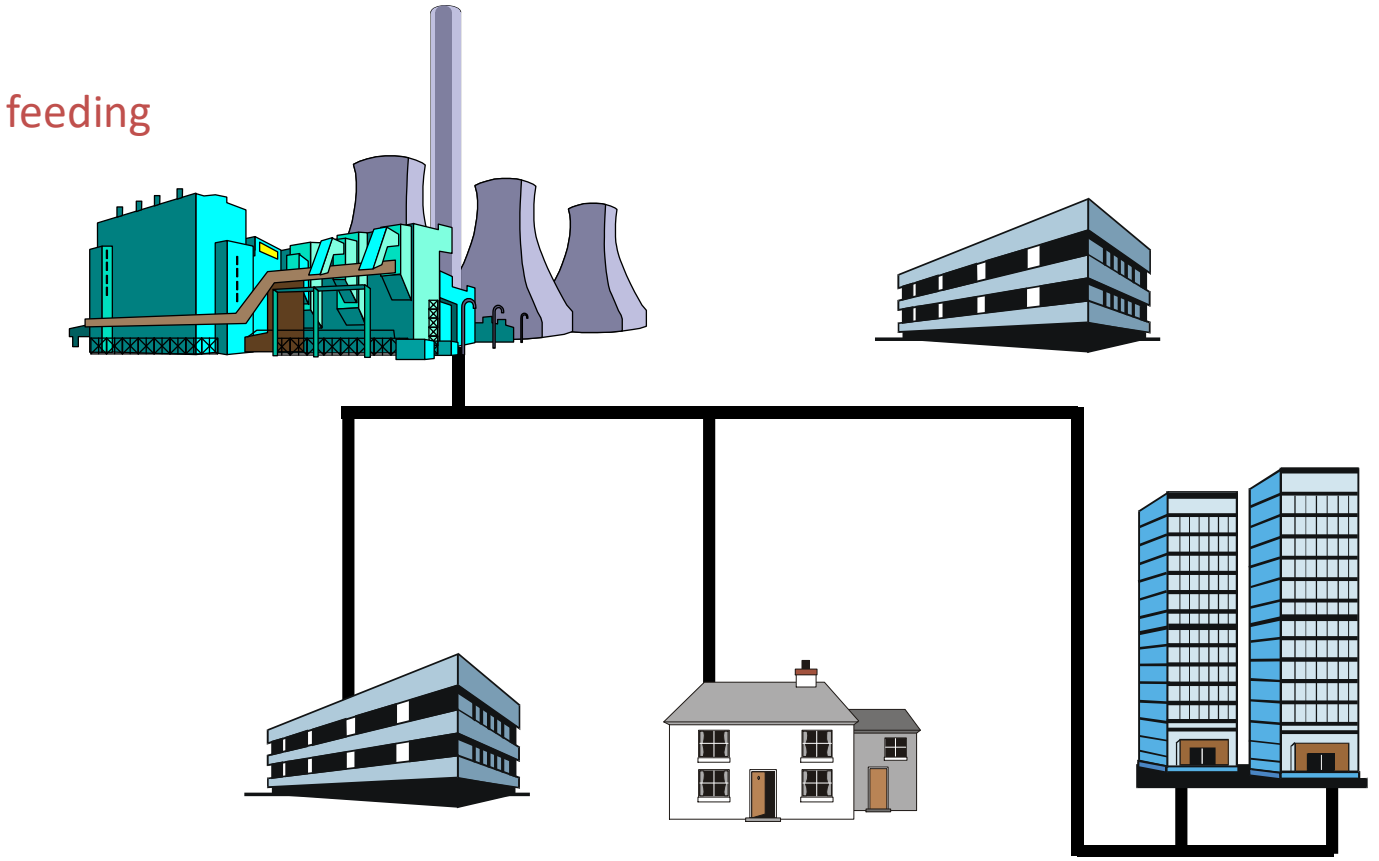
**PRESIÓN** Válvula de seguridad conectada en subestación indirecta; subestación con intercambiador de calor entre la red y el consumidor.
Reductora y mantenedora de presión o válvula de seguridad directamente conectada a la subestación; subestación con intercambiador de calor externo.

**TEMPERATURA** - Temperatura de suministro compensada por el clima para salas o sistemas de calefacción de habitaciones o aire.
- Limitación de la temperatura de retorno.
- Agua caliente sanitaria (toma de control de temperatura, limitador de seguridad de temperatura, monitor de seguridad de temperatura).

**PRESIÓN DIFERENCIAL**
Proteje las subestaciones contra fluctuaciones de la presión diferencial de la red de calor y limita la capacidad de calefacción de acuerdo con el contrato de suministro.

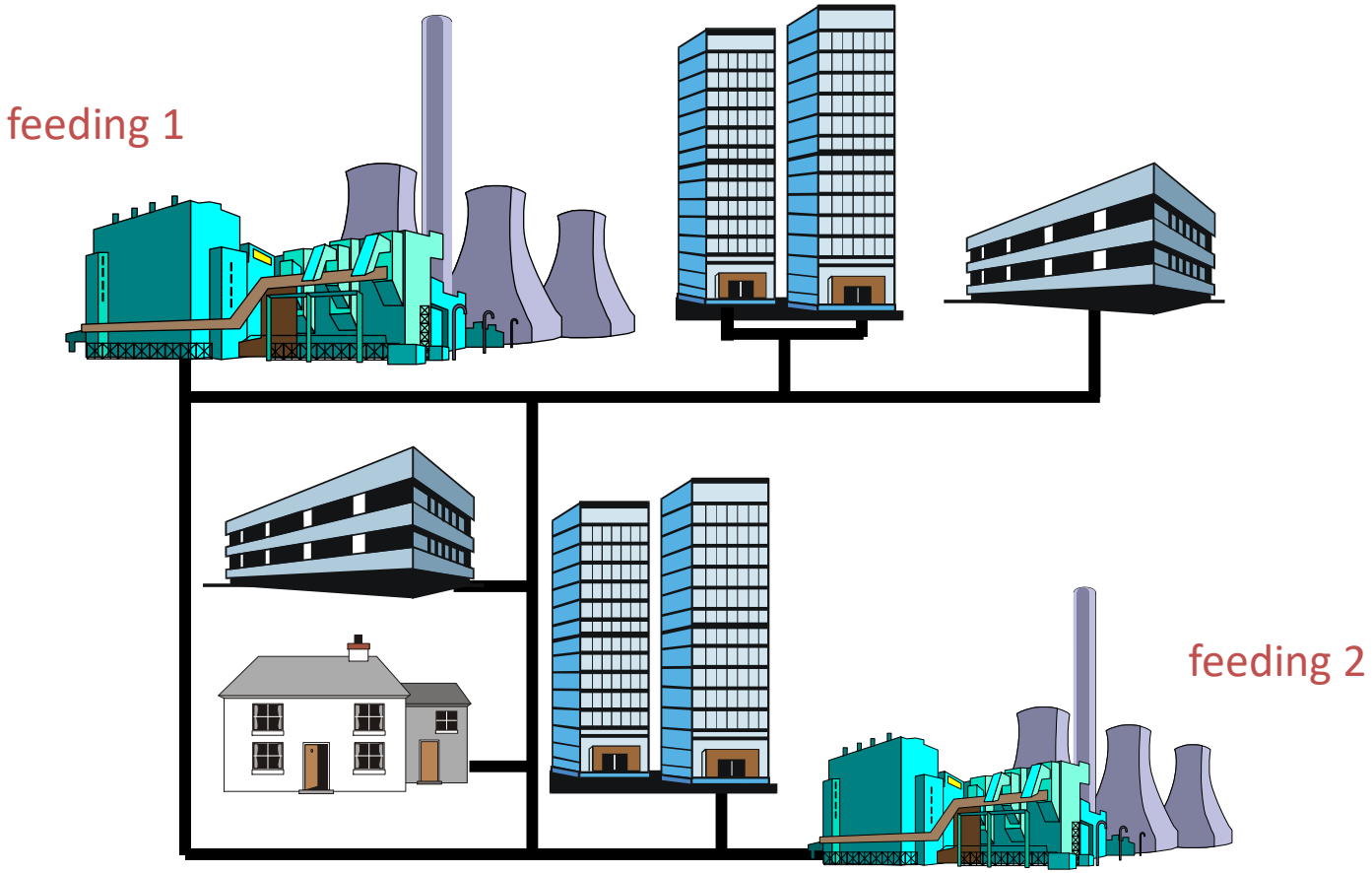
**CAUDAL** Limitación de la capacidad de calefacción de acuerdo con el contrato de suministro.

# Fundamentos de redes de district heating.
# Sistemas de agua caliente.




Sistema de distribución radial.

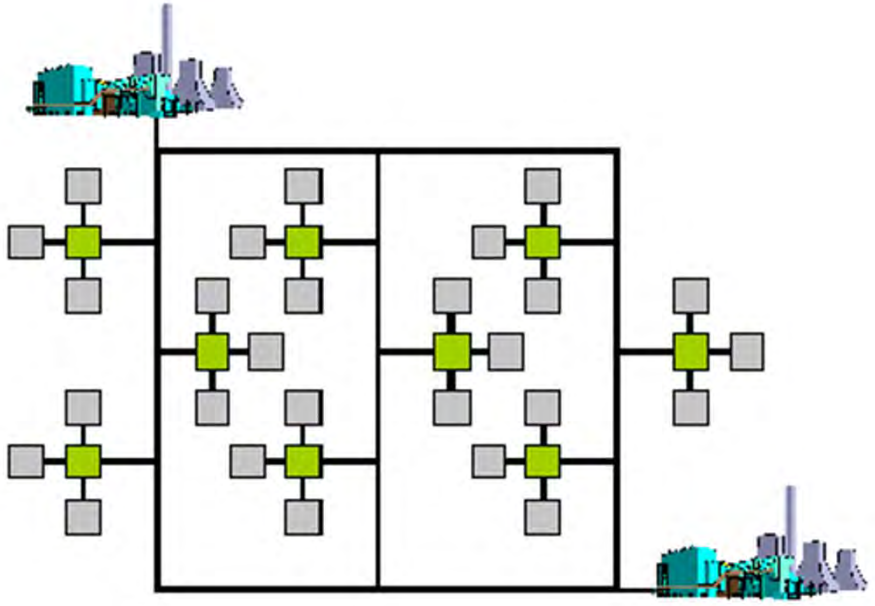
# Fundamentos de redes de district heating.
# Sistemas de agua caliente.




Sistema de distribución de malla con dos centrales.

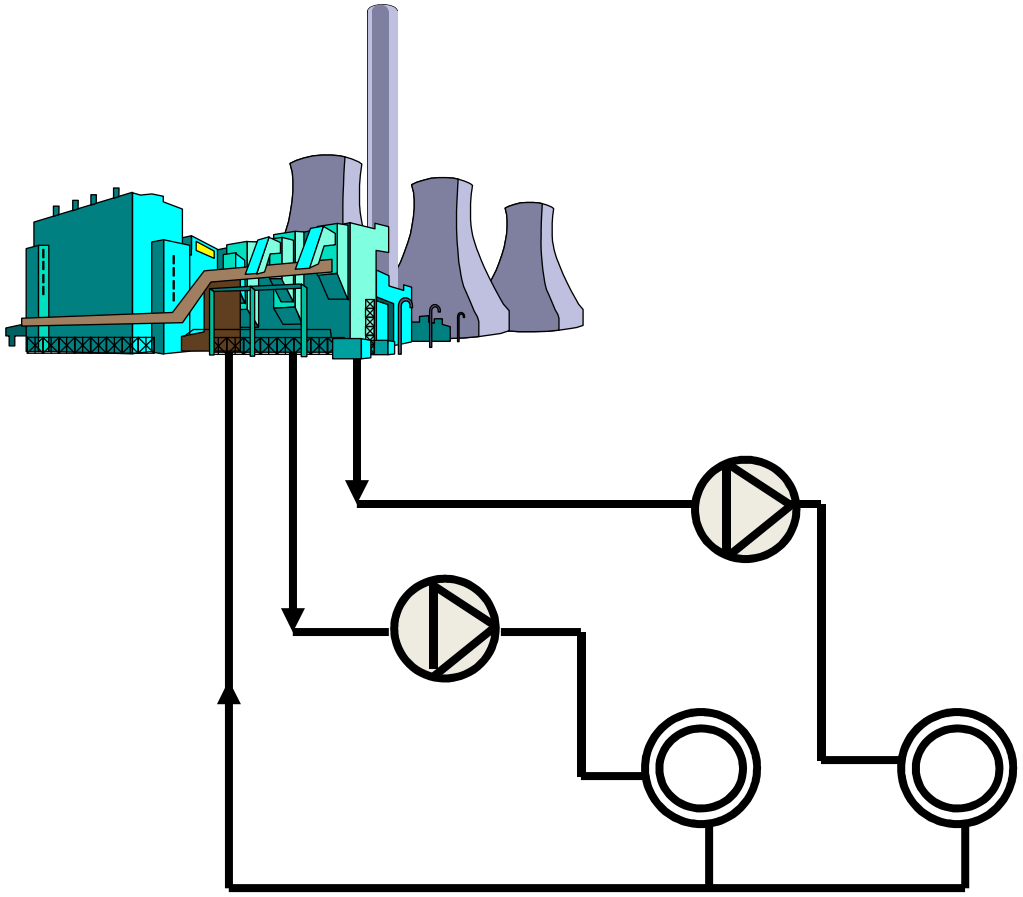
# Fundamentos de redes de district heating. Sistemas de agua caliente.

Sistema de distribución de malla con subestaciones principales y subestaciones secundarias.



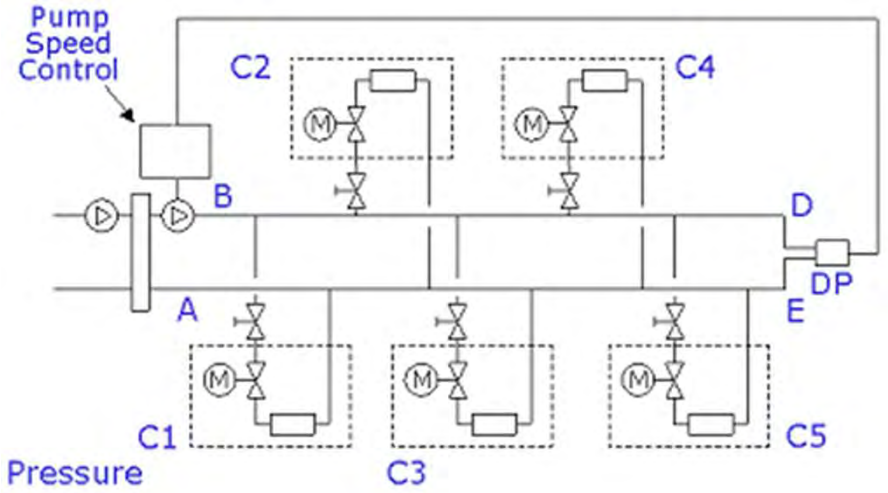
# Fundamentos de redes de district heating. Sistemas de agua caliente.

- Sistema de 3 líneas con un suministrador constante de temperatura. Por ejemplo para generación de agua caliente doméstica.
- Sistema con una línea de suministro con influencia de temperatura del clima para salas o sistemas de calefacción de habitaciones o aire.

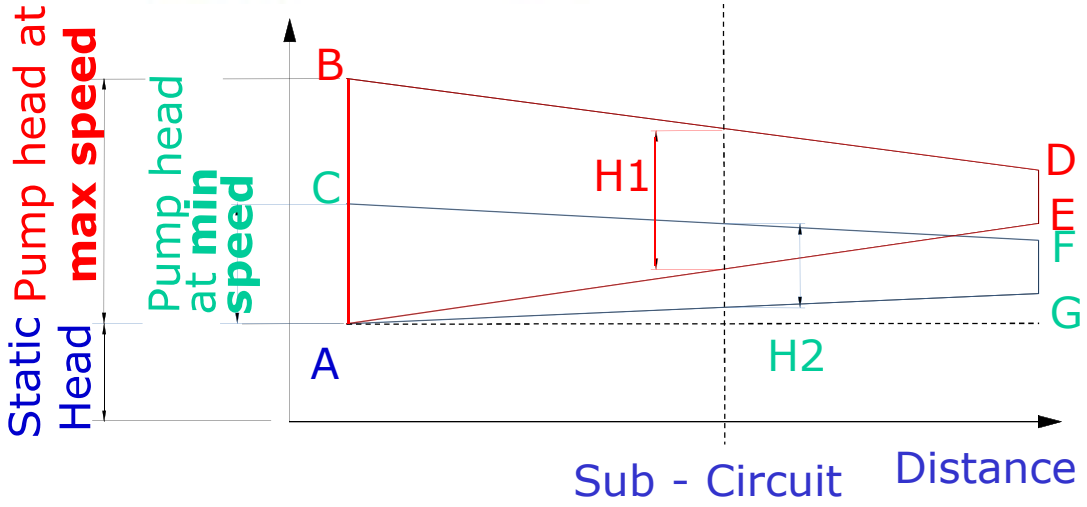


# Fundamentos de redes de district heating. Balance hidráulico.

**Schematic drawing plant**



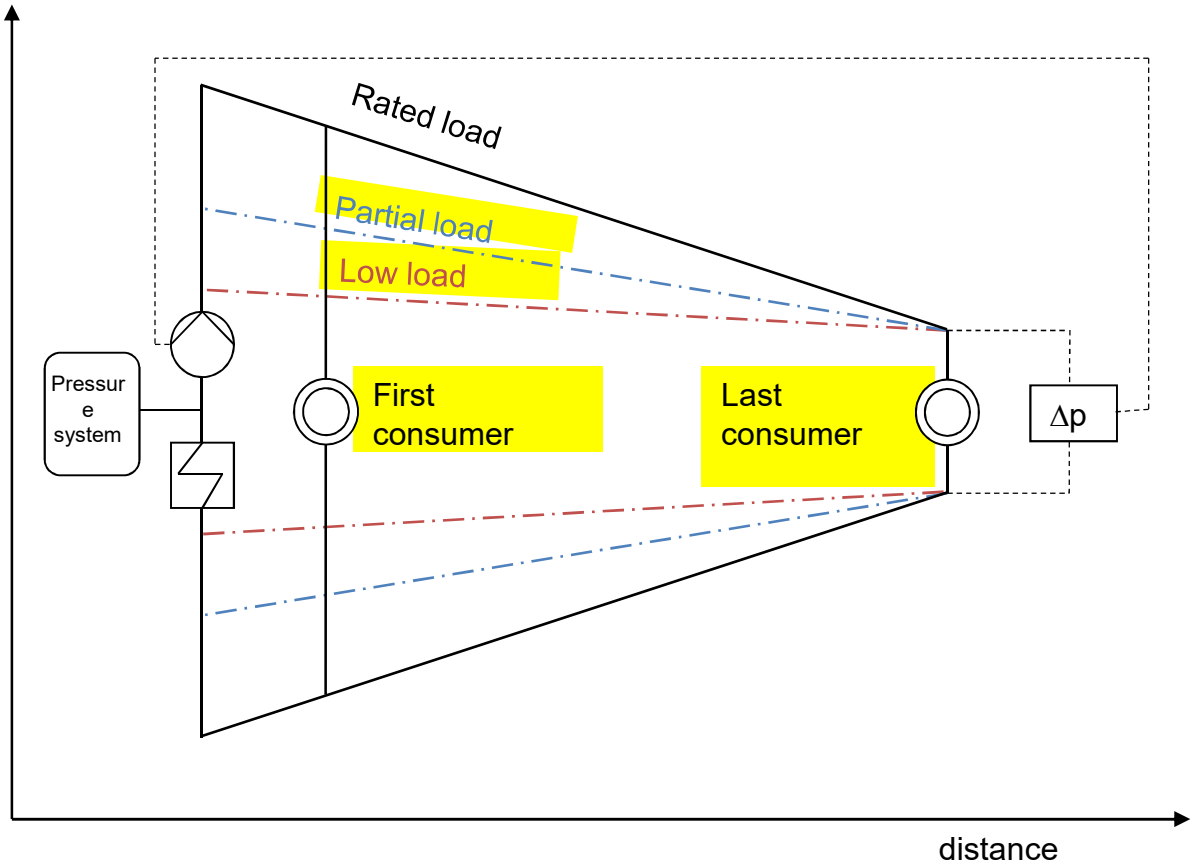

**Pressure Distance Diagram**



# Fundamentos de redes de district heating. Balance hidráulico. Operación con variador de frecuencia en la bomba.

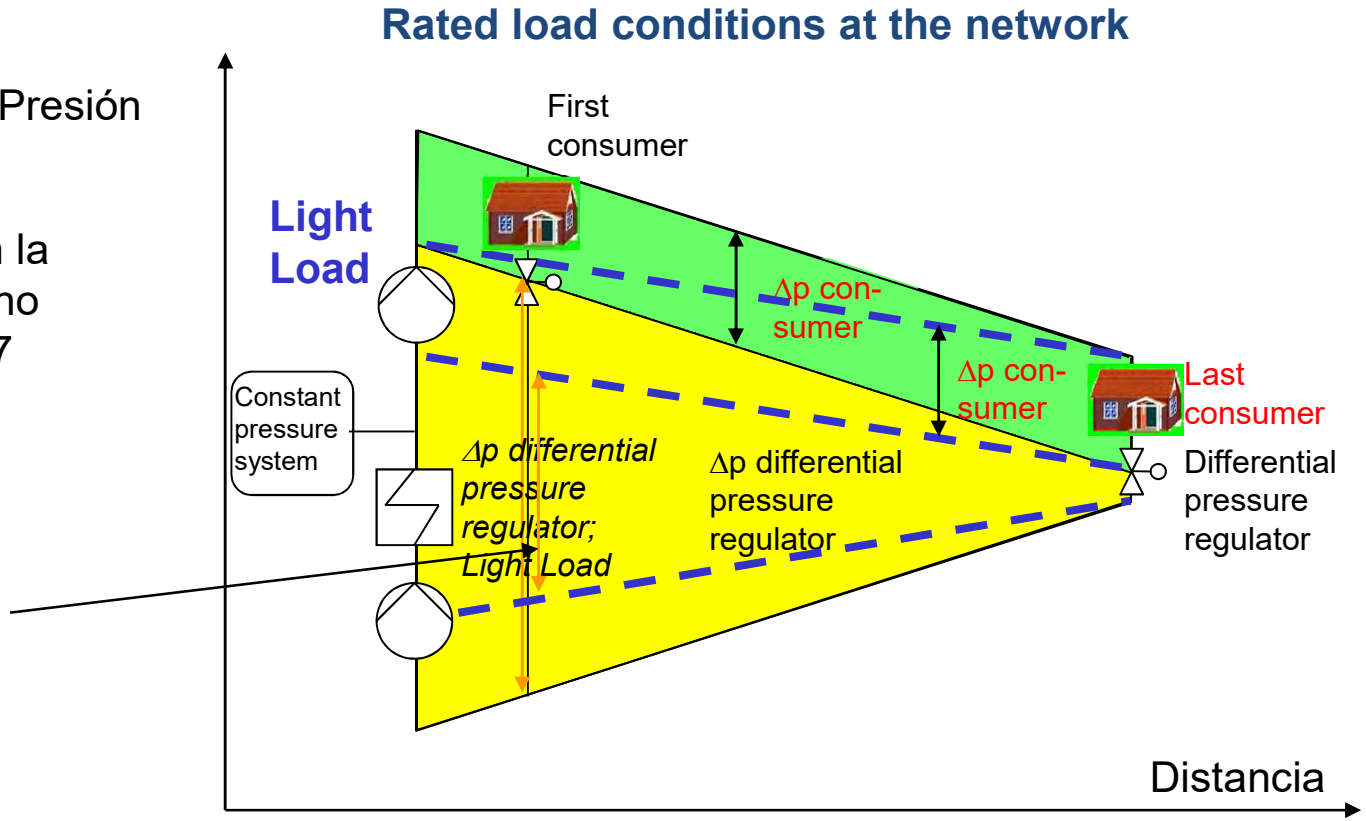
**Diagrama presión/distancia.**

En redes de district heating con caudal variable y presión diferencial constante hasta el último consumidor, el primer consumidor está sujeto a cambios de presión diferencial que dependerán de las diferentes pérdidas de carga en las líneas.

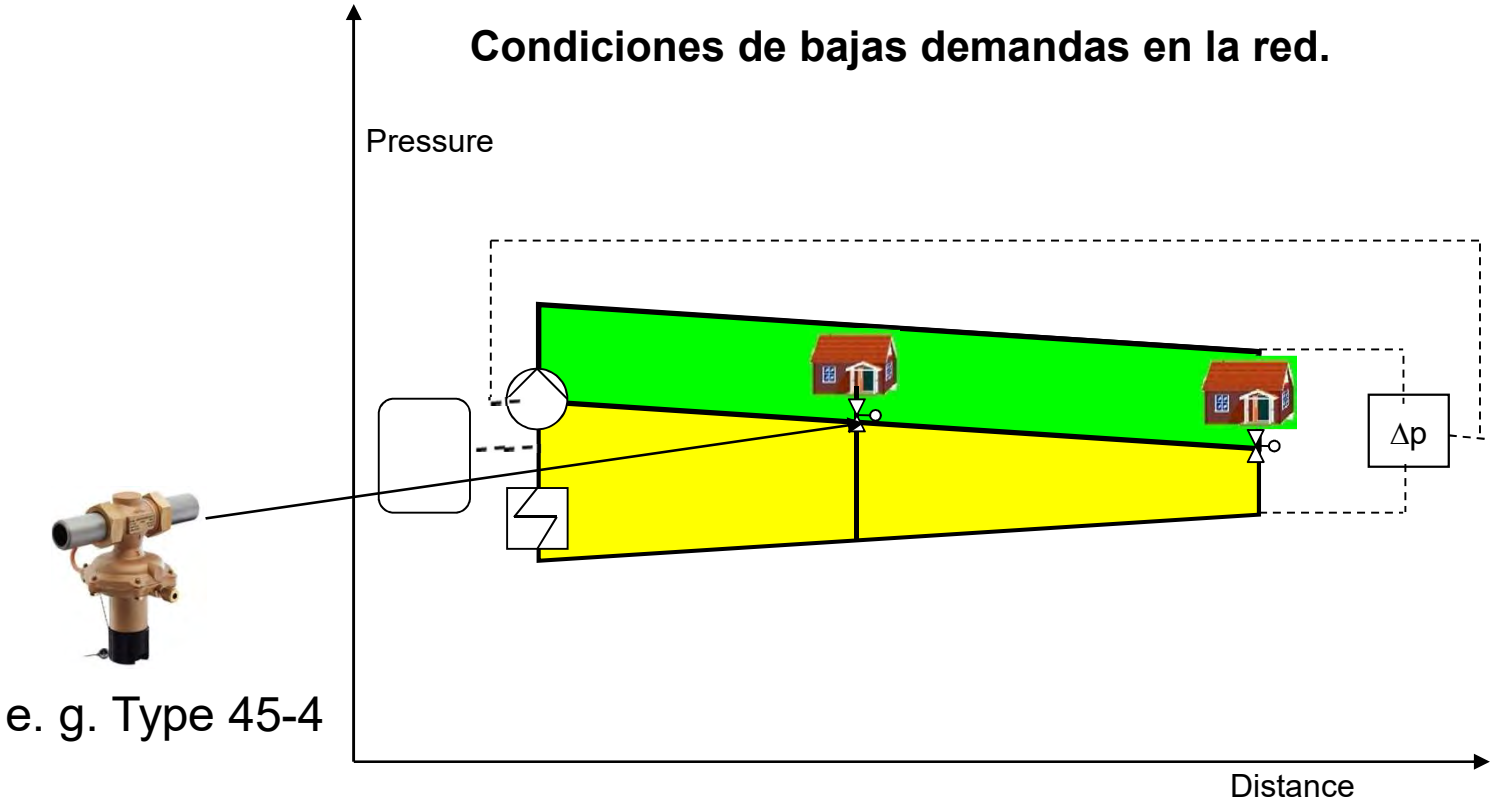


# Fundamentos de redes de district heating. Balance hidráulico. Operación con variador de frecuencia en la bomba y reguladores de presión diferencial.

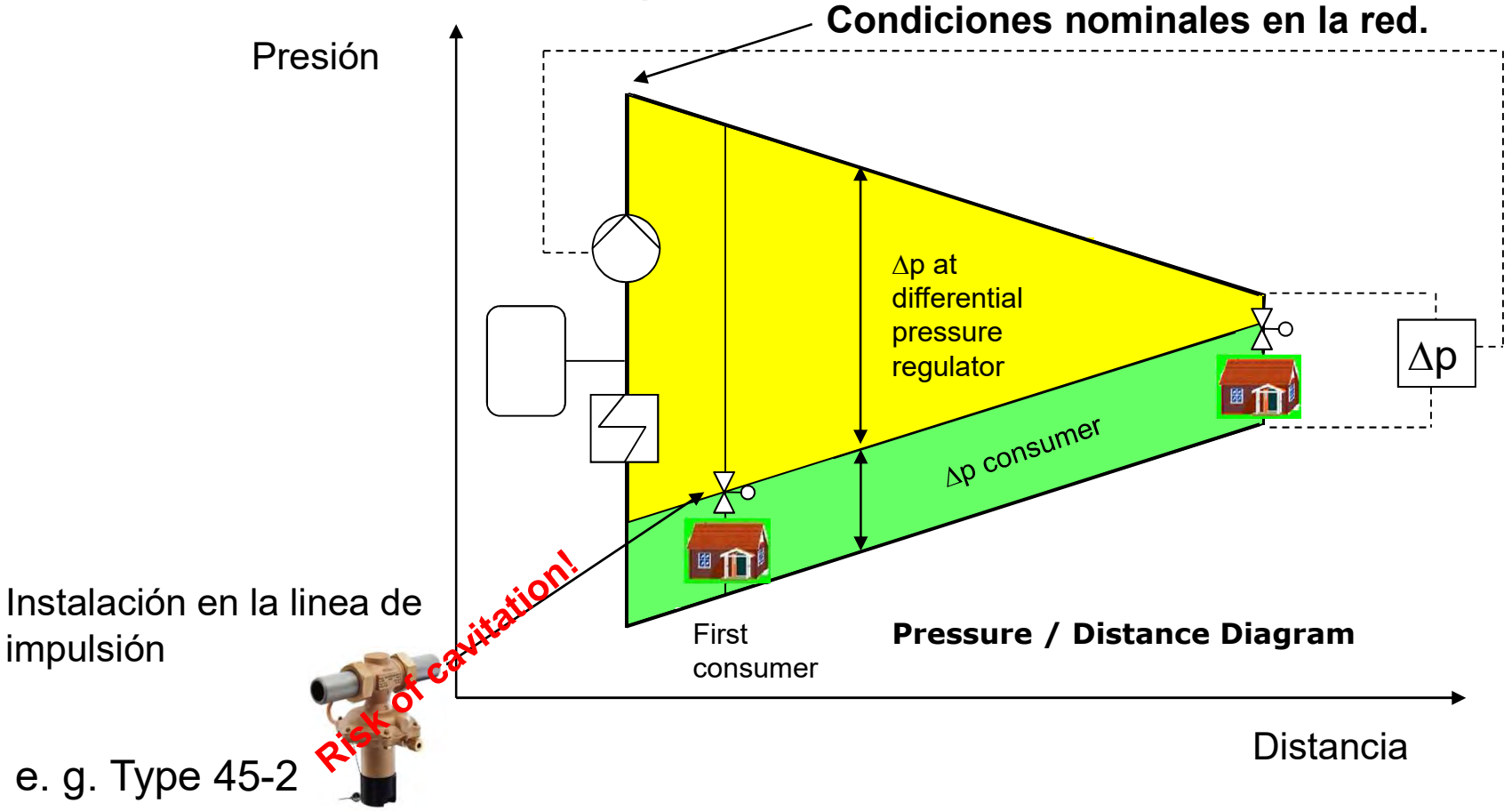
Instalación en la línea de retorno e.g. Type 46-7



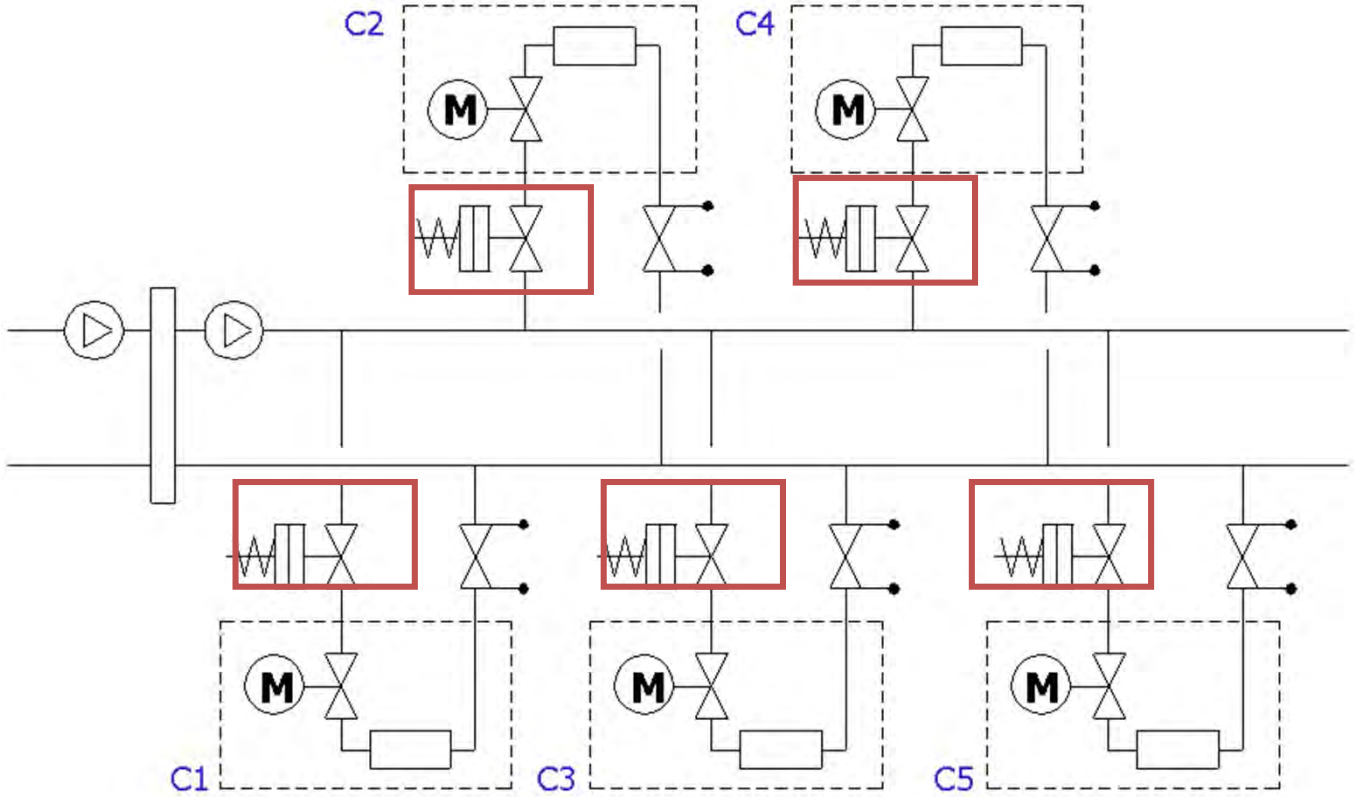
# Fundamentos de redes de district heating. Balance hidráulico. Operación con variador de frecuencia en la bomba y reguladores de presión diferencial.



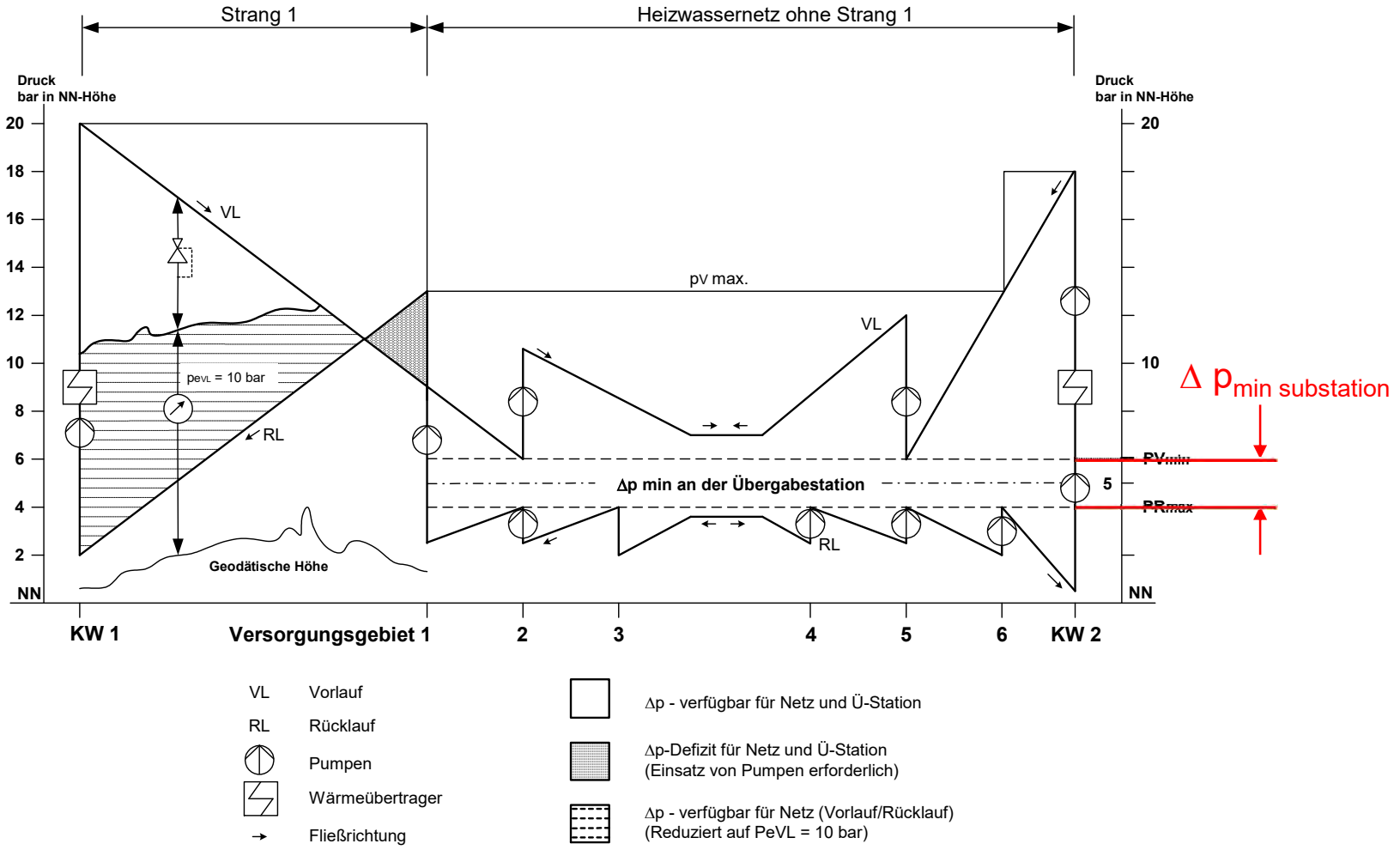
# Fundamentos de redes de district heating. Balance hidráulico. Operación con variador de frecuencia en la bomba y reguladores de presión diferencial.



Instalación de válvulas de control de presión diferencial en todas las sub-estaciones.

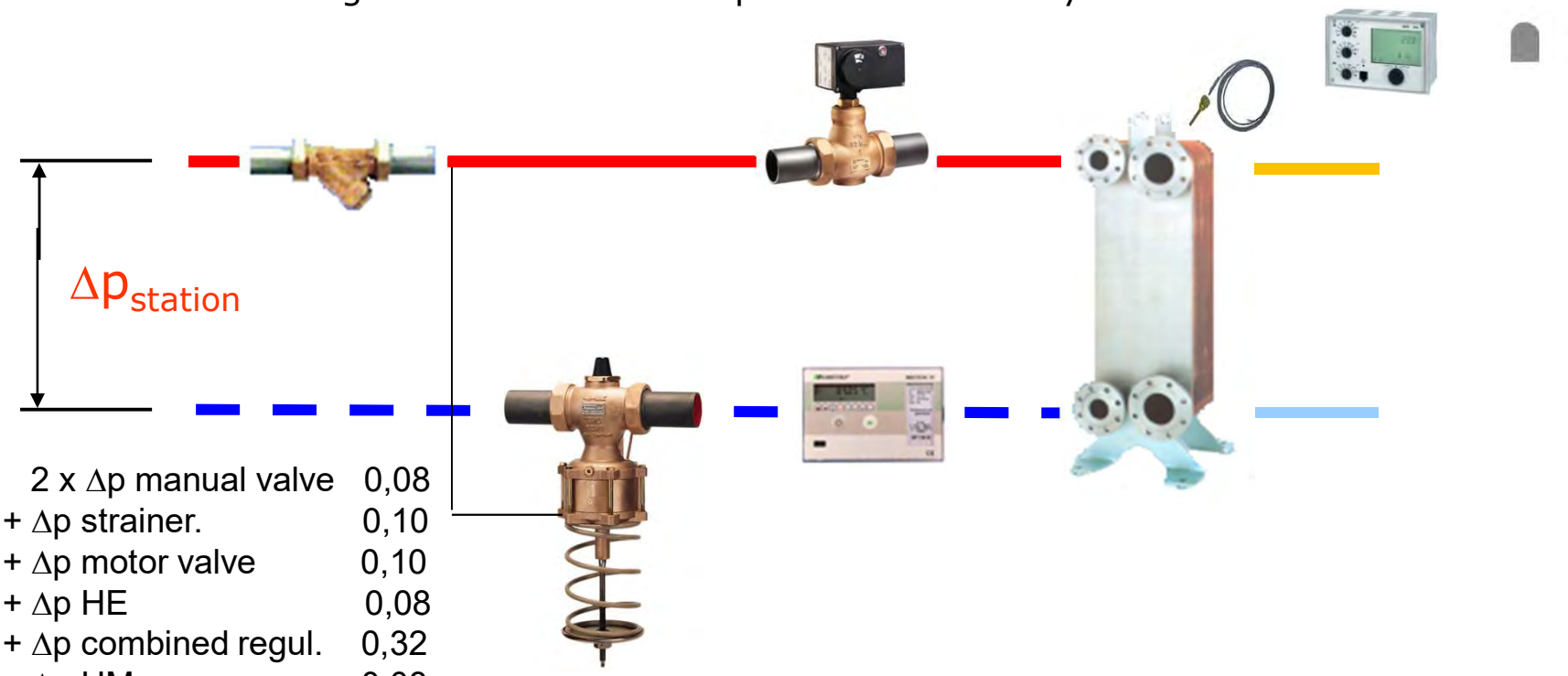


# Fundamentos de redes de district heating. Balance hidráulico.



# Fundamentos de redes de district heating. Balance hidráulico. Sub-estaciones indirectas.

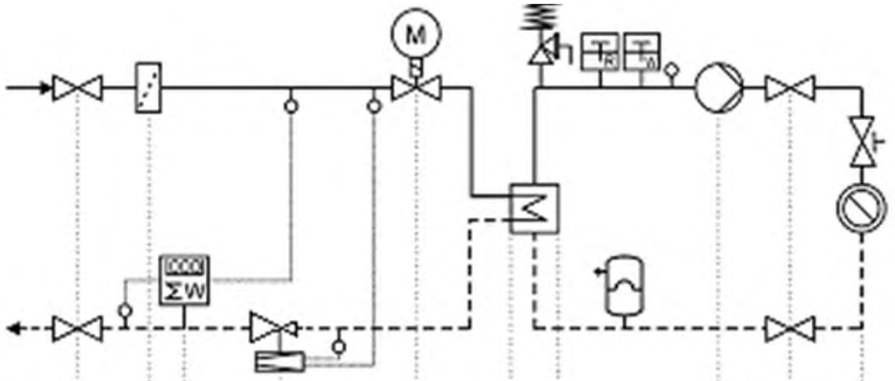
Se requiere una presión diferencial mínima de 0,8 bar en operación de una sub-estación indirecta con un regulador combinado de presión diferencial y caudal.



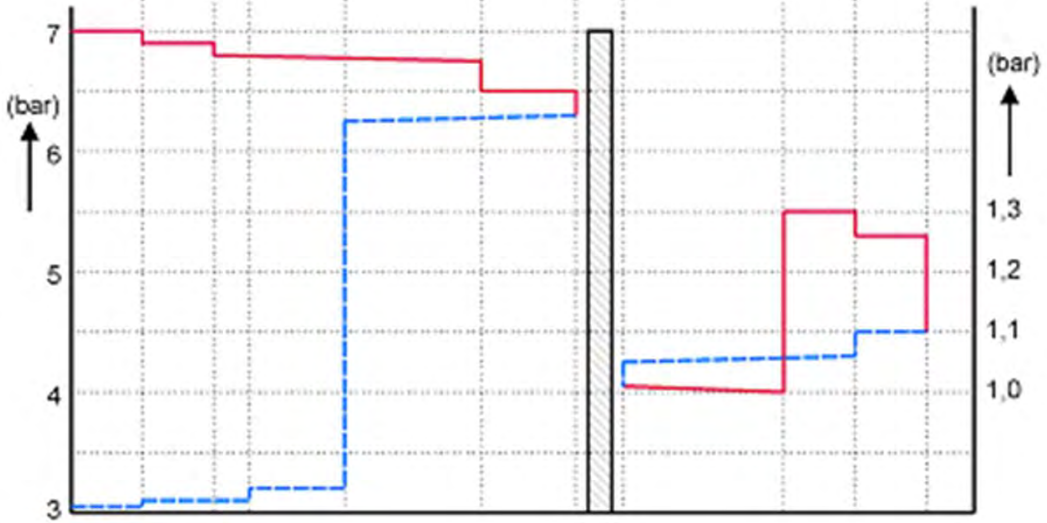

| | |
|---|---|
| 2 x Δp manual valve | 0,08 |
| + Δp strainer. | 0,10 |
| + Δp motor valve | 0,10 |
| + Δp HE | 0,08 |
| + Δp combined regul. | 0,32 |
| + Δp HM | 0,08 |
| + Δp pipeing | 0,04 |
| Δp station | 0,80 bar |

# Fundamentos de redes de district heating. Balance hidráulico. Sub-estaciones indirectas.

El intercambiador de calor separa el circuito del district heating del circuito del consumidor



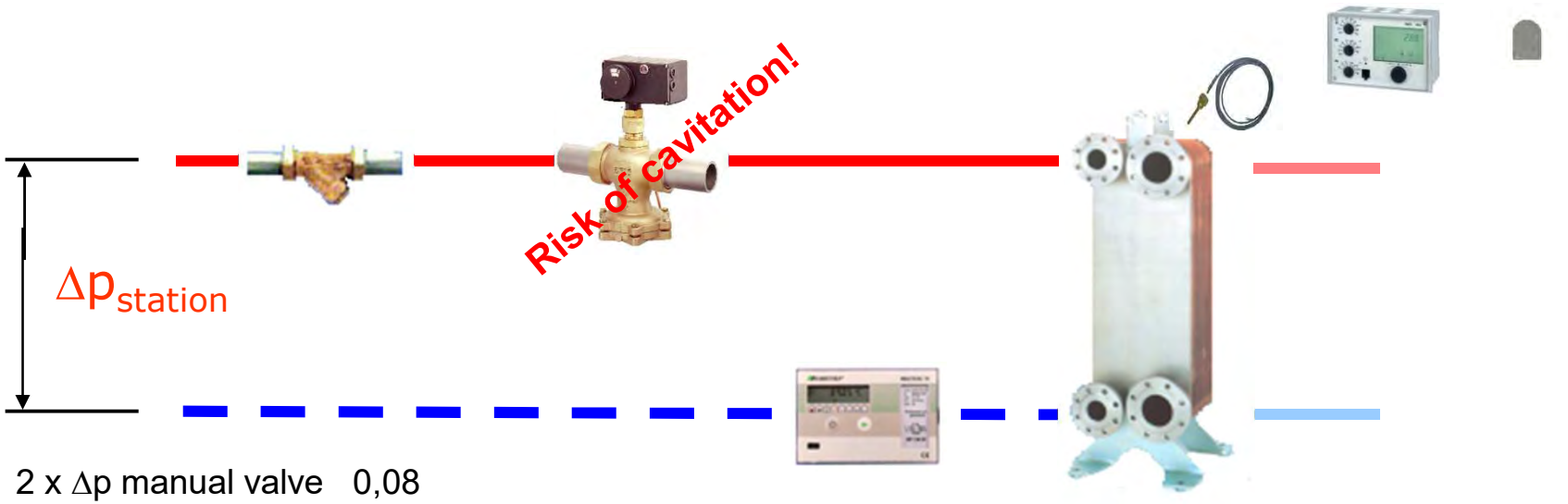

Presión del circuito primario




Presión del circuito del consumidor

# Fundamentos de redes de district heating. Balance hidráulico. Sub-estaciones indirectas.

Se requiere una presión diferencial mínima de 0,7 bar en operación de una sub-estación indirecta con un regulador independiente de la presión diferencial.




| | |
|---|---|
| 2 x Δp manual valve | 0,08 |
| + Δp strainer. | 0,10 |
| + Δp HE | 0,08 |
| + Δp PICV | 0,32 |
| + Δp HM | 0,08 |
| + Δp pipeing | 0,04 |
| Δp station | 0,70 bar |

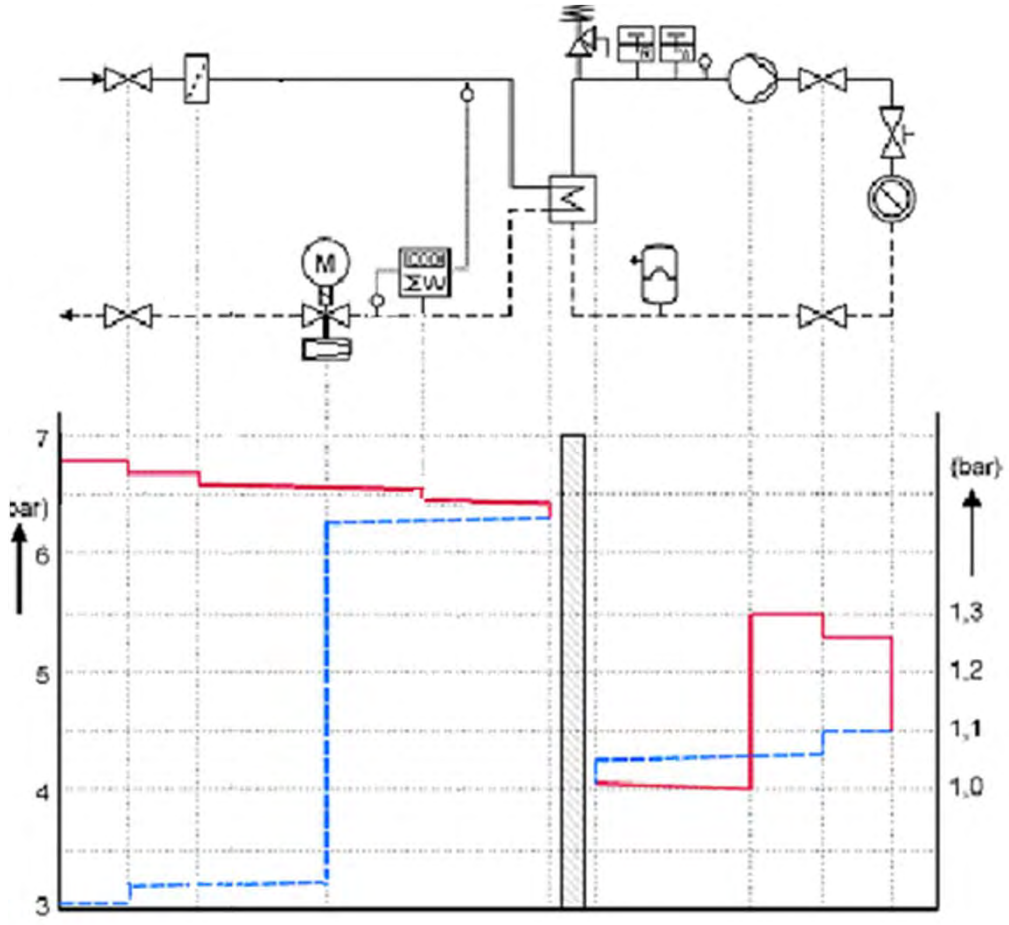
# Fundamentos de redes de district heating. Balance hidráulico. Sub-estaciones indirectas.

Se requiere una presión diferencial mínima de 0,7 bar en operación de una sub-estación indirecta con un regulador independiente de la presión diferencial.

| | |
|---|---|
| 2 x Δp manual valve | 0,08 |
| + Δp strainer. | 0,10 |
| + Δp HE | 0,08 |
| + Δp PICV | 0,32 |
| + Δp HM | 0,08 |
| + Δp pipeing | 0,04 |
| Δp station | 0,70 bar |

# Fundamentos de redes de district heating. Balance hidráulico. Sub-estaciones indirectas conectadas.

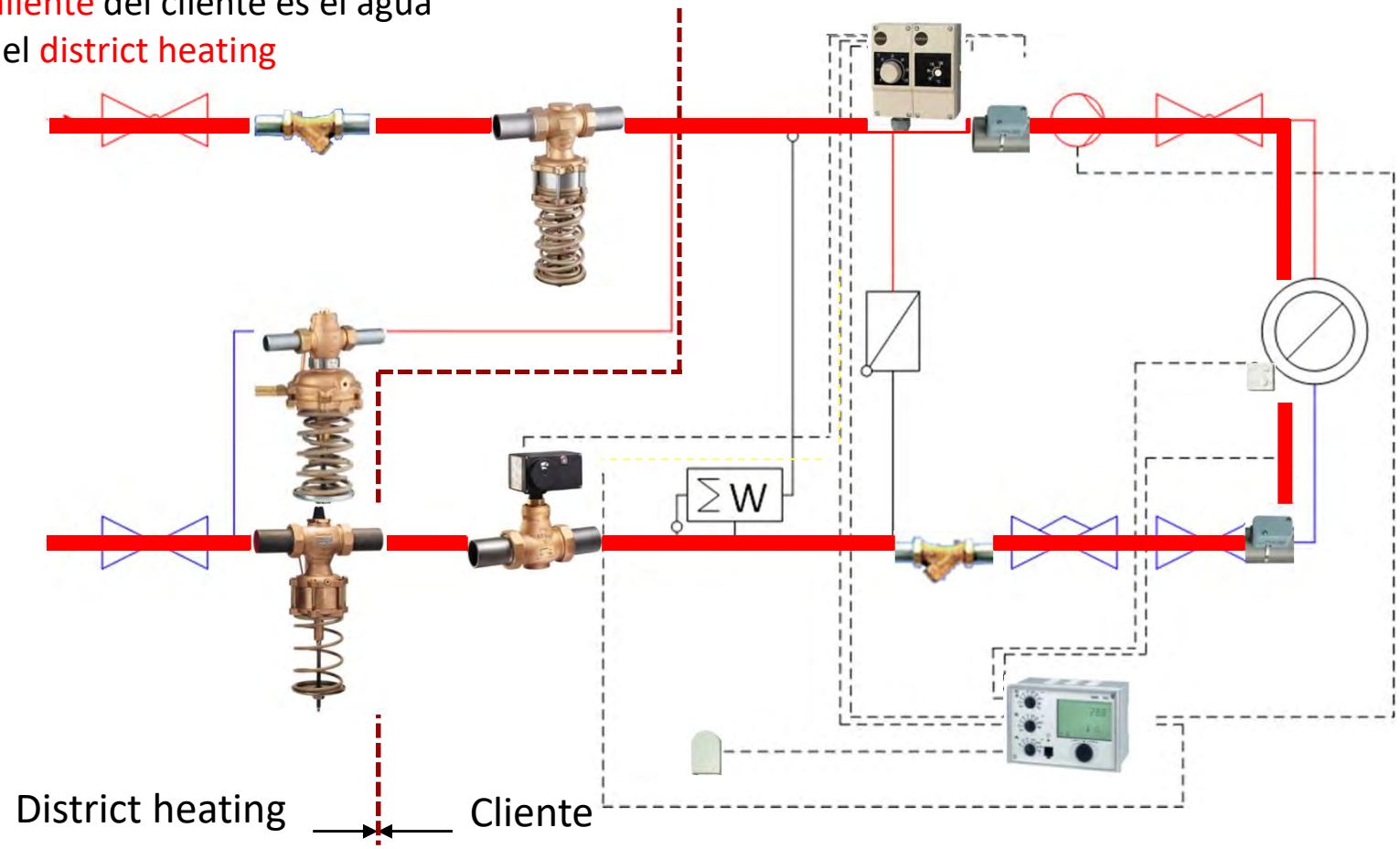
Presión del circuito primario



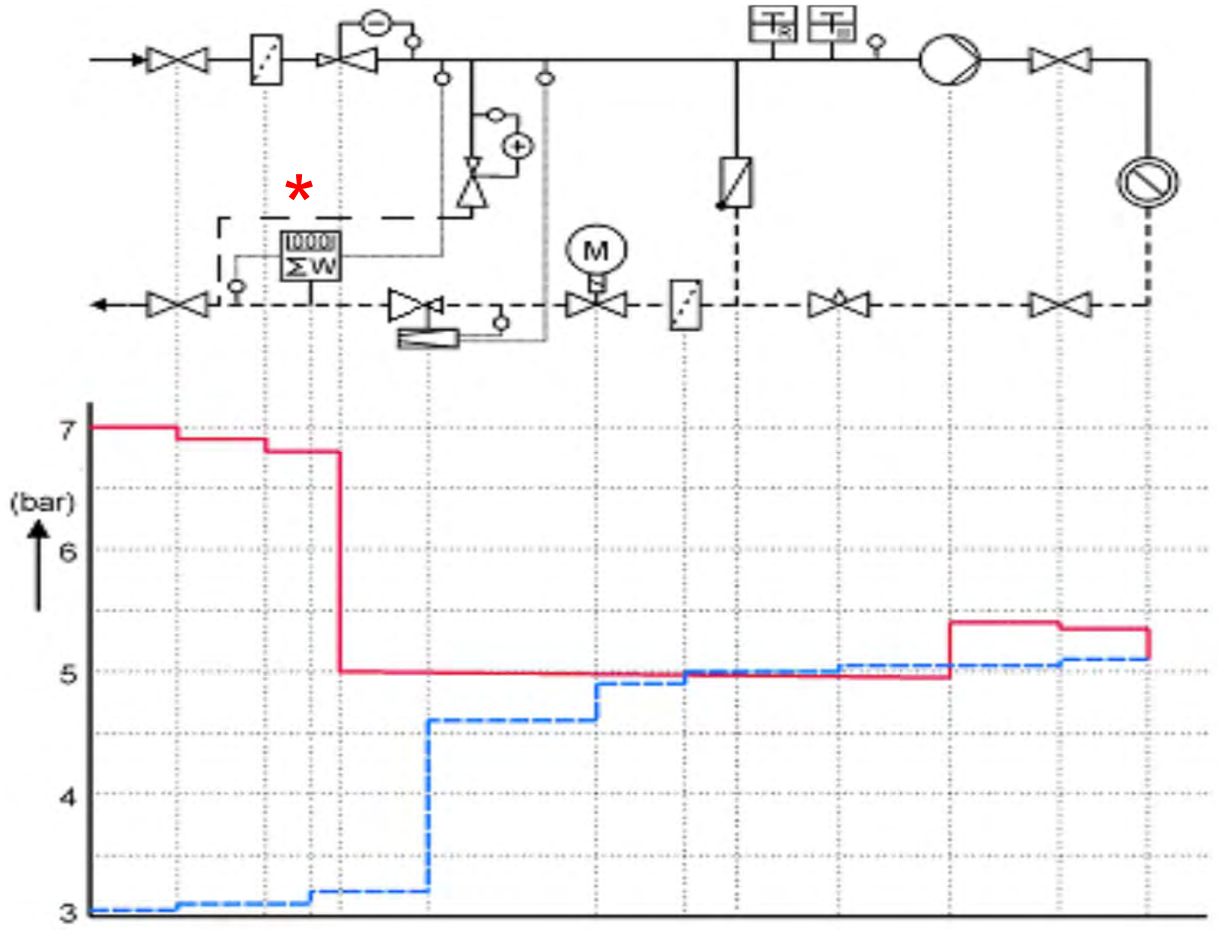

Presión del circuito del consumidor

# Fundamentos de redes de district heating. Balance hidráulico. Sub-estaciones directamente conectadas.

El agua caliente del cliente es el agua caliente del district heating



# Fundamentos de redes de district heating. Balance hidráulico. Estaciones directas.



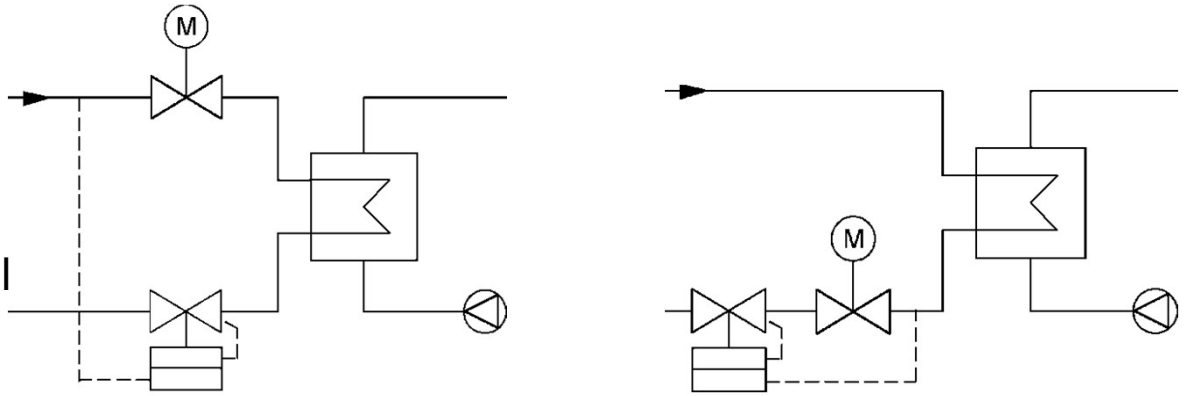

* El medidor de calor debe colocarse frente al regulador de presión diferencial o el regulador combinado

# Reguladores de presión diferencial.

**Con actuador de cierre:**

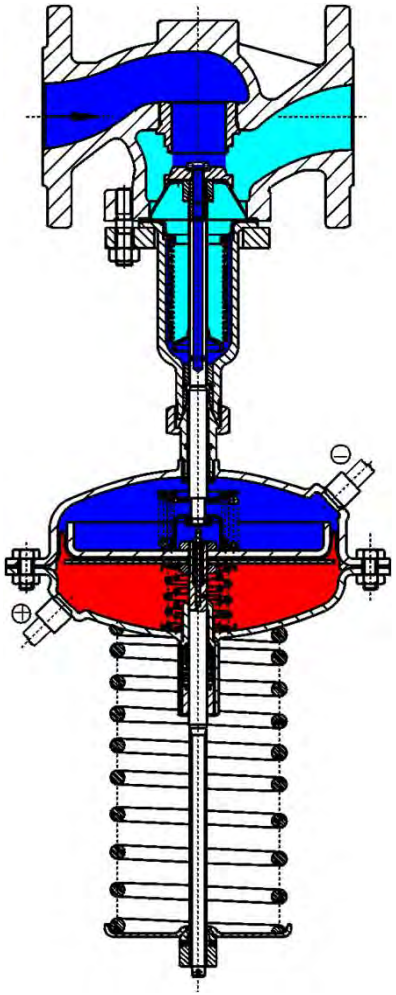
- Instalados en serie con el consumidor.
- Protege la planta de elevadas presiones y grandes variaciones de presión diferencial.
- Garantiza alta capacidad de actuación y autoridad de control, bien con actuador eléctrico bien con termostato.

Cuando el actuador eléctrico cierra la válvula, el regulador de presión diferencial cierra.

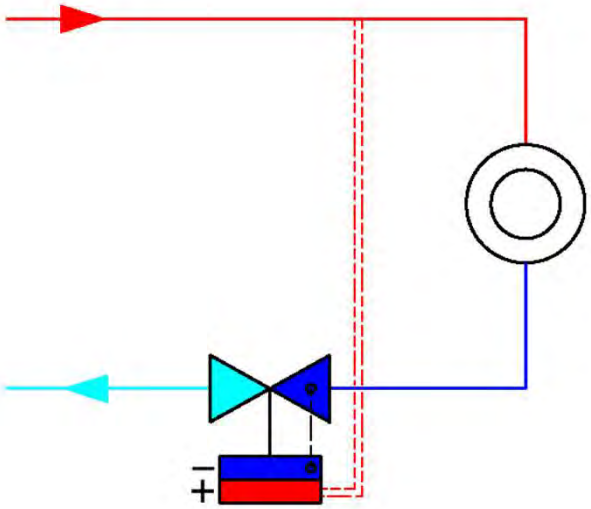


# Reguladores de presión diferencial.

## Samson Tipo 42-24 A

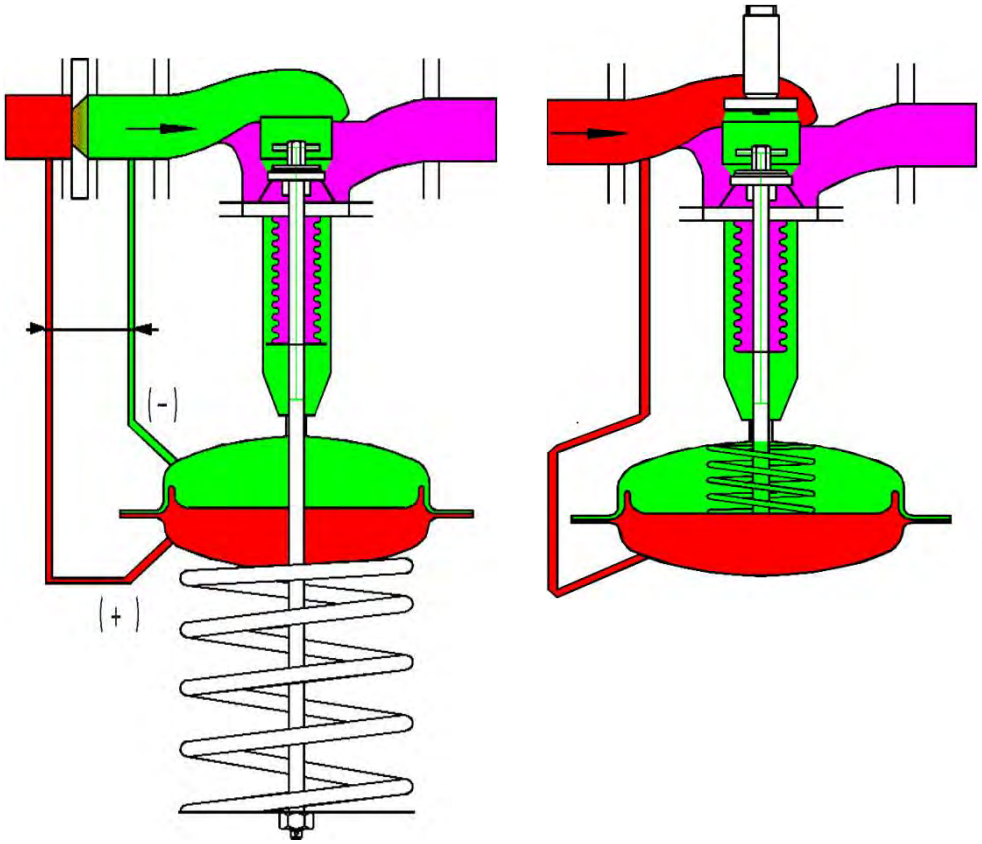


- La válvula cierra cuando la presión diferencial aumenta.
- Instalación en la línea de retorno.



# Regulador de caudal.

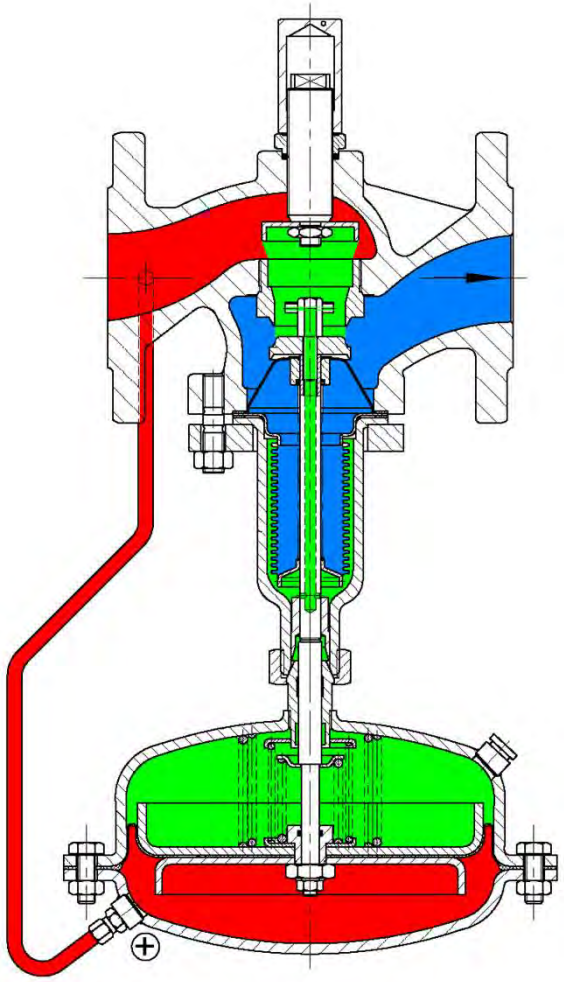
**Principio de operación**



Samson Tipo 42-36

# Regulador de caudal Samson Tipo 42-36.

- DN 15 a DN 250 (1/2" to 10")
- PN 16, 25 ó 40
- Regulación del caudal de 0.05 a 180 $m^3/h$.
- Punto de consigna ($\Delta p$ en la restricción) 0.2 ó 0.5 bar



# Reguladores combinados: presión diferencial y caudal.

La combinación del regulador de presión diferencial y caudal tiene la misma función que dos reguladores individuales: regulador de presión diferencial y regulador de caudal.

Samson Tipo 42-37

=

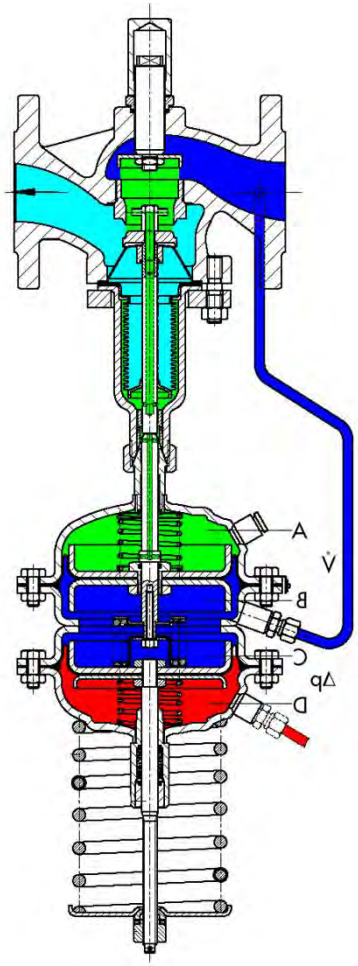
Regulador de presión diferencial. Samson Tipo 42-24

+

Regulador de caudal. Samson Tipo 42-36

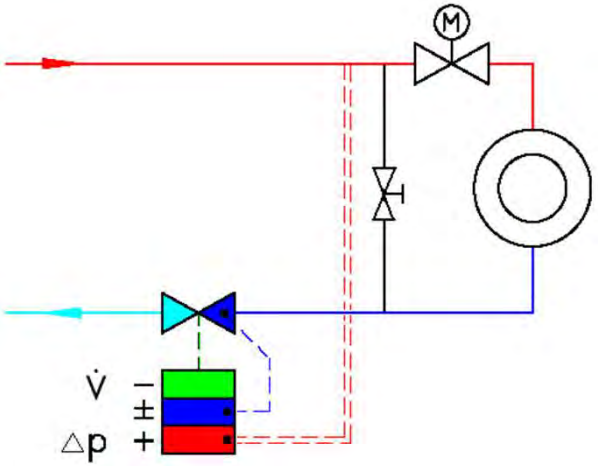
# Reguladores combinados: presión diferencial y caudal.

Samson Tipo 42-37

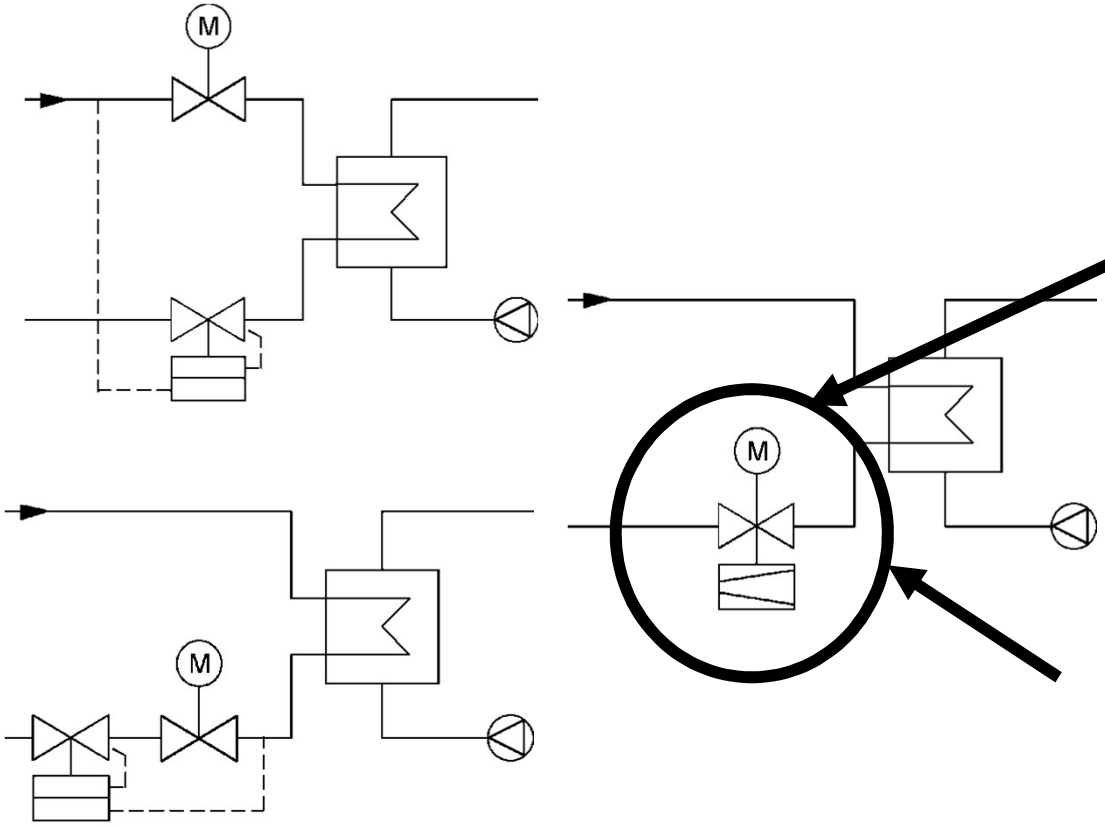



Caudal de paso ajustable si:

- Planta a plena carga.
- By-pass abierto.



# Reguladores combinados: presión diferencial y caudal con actuador eléctrico.



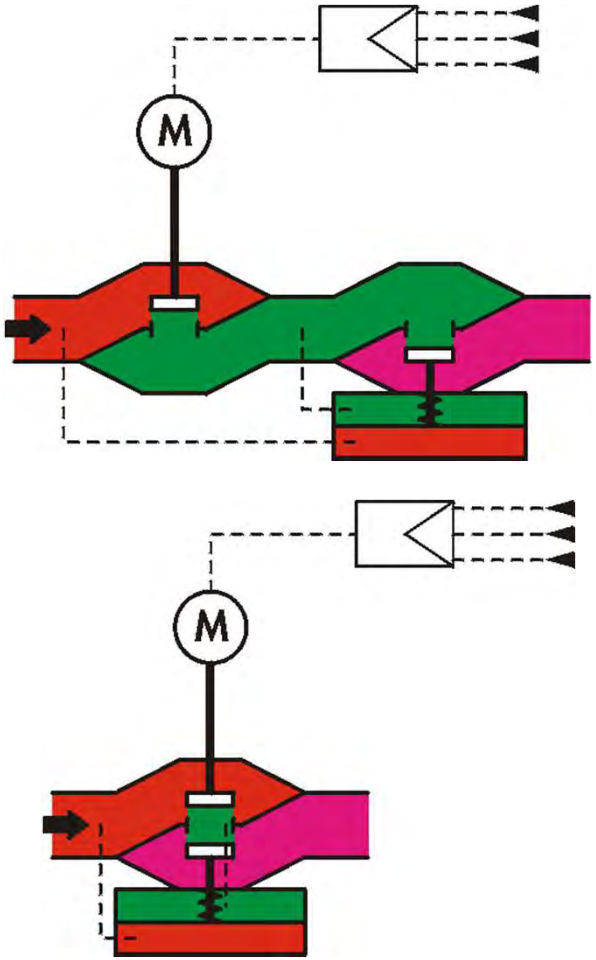
Samson Tipo 42-36 E

SamsonTipo 2488

# Reguladores combinados: presión diferencial y caudal con actuador eléctrico.

**Funciones:**

- Limitación de caudal.
- Control de temperatura.
- Válvula actuada eléctricamente.
- Control de la presión diferencial de la válvula actuada eléctricamente.
- Versiones disponibles con reset de seguridad del equipo.



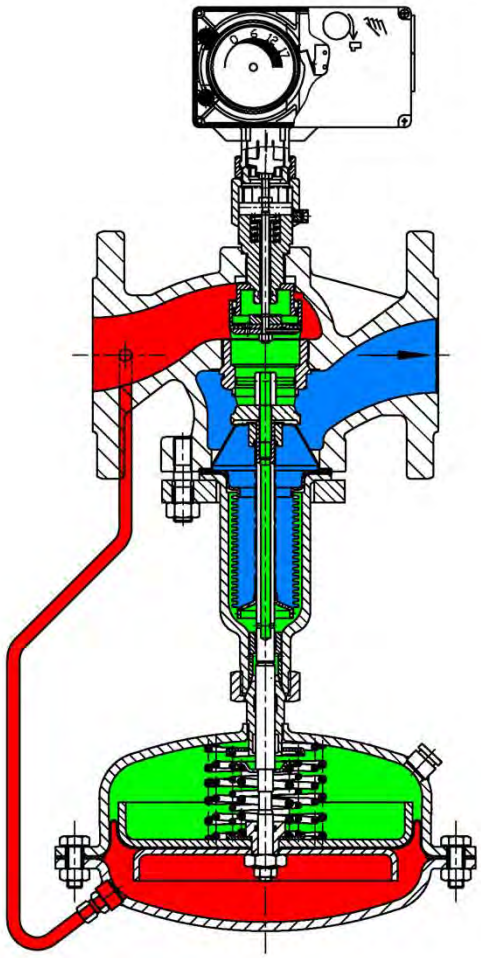

**Beneficios:**

- Costes reducidos:
  - Operación.
  - Mantenimiento.
- Excelente rangeabilidad.
- Reducida pérdida de carga.
- Diseño compacto.
- Elevada autoridad de la válvula.

# Reguladores combinados: presión diferencial y caudal con actuador eléctrico.

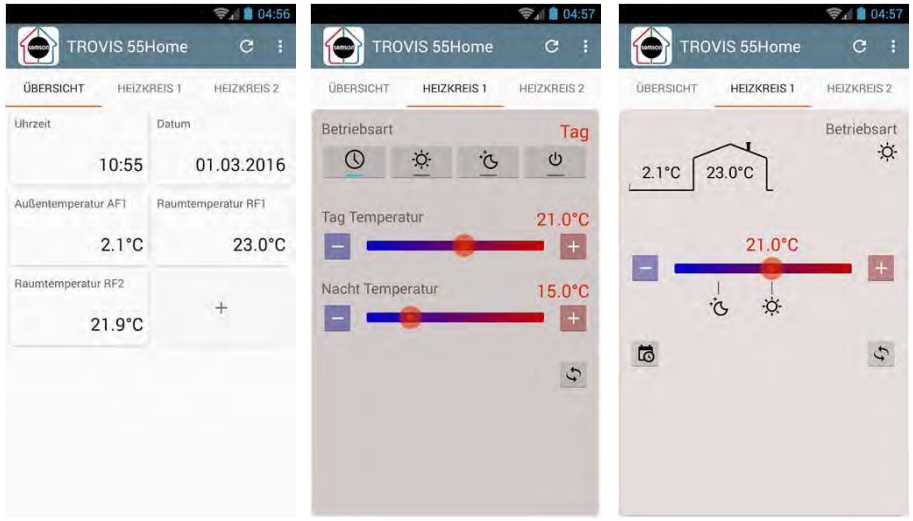
Samson Tipo 42-36E/5825
DN 15 a 50

- Tamaños desde DN 15 a DN 250 (1/2” a 10”).
- Ratings de PN 16, 25 ó 40.
- Caudales de paso desde 0,05 a 220 $m^3/h$.
- Punto de consigna ($\Delta p$ en la restricción de 0,2 ó 0,5 bar.



# Sistemas de control wireless.

- Integración y automatización de la sala de calderas.
- Conexión con 60 subestaciones.
- Conexión de contadores de calor en la sala de calderas utilizando medidor de bus.
- Ajuste manual de puntos de consigna.




- Aplicación movil (iOS y Android) de control para el usuario.
- Lectura del consumo instantaneo y acumulado de calor.
- Adaptación del punto de consigna por habitación.
- Ideal para conexión y desconexión remota fuera de casa.

# Casos de éxito.

District heating en **Berlín**.

- La red de calor más grande del este de Europa.
- Más del 30% de los edificios residenciales de Berlín.
- 3.000 controladores wireless instalados para la climatización de viviendas.

District cooling **Lusail Smart City (Qatar)**.

- Automatización de 19 distritos distribuidos en 38 km².
- Válvulas autoperadas con actuación eléctrica para ahorros de energía.
- Instalaciones diseñadas para el campeonato mundial FIFA 2022.

# Objetivos de las compañías y consumidores de district heating.

## Objetivos de las compañías de district heating.

- Alta **eficiencia** de la red de calor.
- Alta **fiabilidad** de todo el sistema: planta de generación y subestaciones.
- Buena distribución de la **capacidad calorífica**.
- Bajo coste de **operación** y bajas **pérdidas** de calor.
- Operación **estable**.
- **Comunicación** fiable con las subestaciones.

## Objetivos de los consumidores de district heating.

- Bajo coste de **calefacción**.
- Funcionamiento con bajo **nivel de ruido**.
- Alto nivel de **confort**.
- **Comunicación** sencilla y a **distancia** que se adecuen a las necesidades.

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

SAMSON

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

15:50 - 17:50

**SESIÓN 6 Track A. EFICIENCIA y EDIFICACIÓN**

Modera: Isabel Cebrián. **ENDESA**

"Evaluación de las zonas climáticas utilizadas en España y dinámica de cambios en el H2100. Adaptación de la edificación" **Carmen Díaz López.** Investigadora **UNIVERSIDAD DE GRANADA**

"Redes de agua caliente y agua fría. La importancia del equilibrado garantizando las presiones diferenciales y los caudales de contrato" **José Franciso Andreu Yela.** Jefe de Ventas. **SAMSOM**

"Comparativa del consumo energético en viviendas con diferentes estándares pasiv, tras un año de implantación" **José María Guerra Romero**. Director de Expansión. **GARCÍA DE CELIS**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# Comparativa del consumo energético en viviendas con diferentes estándares Passiv, tras un año de implantación

José Mª Guerra Romero

GARCÍA DE CELIS
Construcción Sostenible y Eficiente

aee
The Association of Energy Engineers
Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice


1 Objetivos del estudio

2 Información, Control y Toma de datos

3 Descripción de las distintas tipologías de vivienda

4 Análisis de resultados

5 Conclusiones

## 1 - Objetivos del estudio

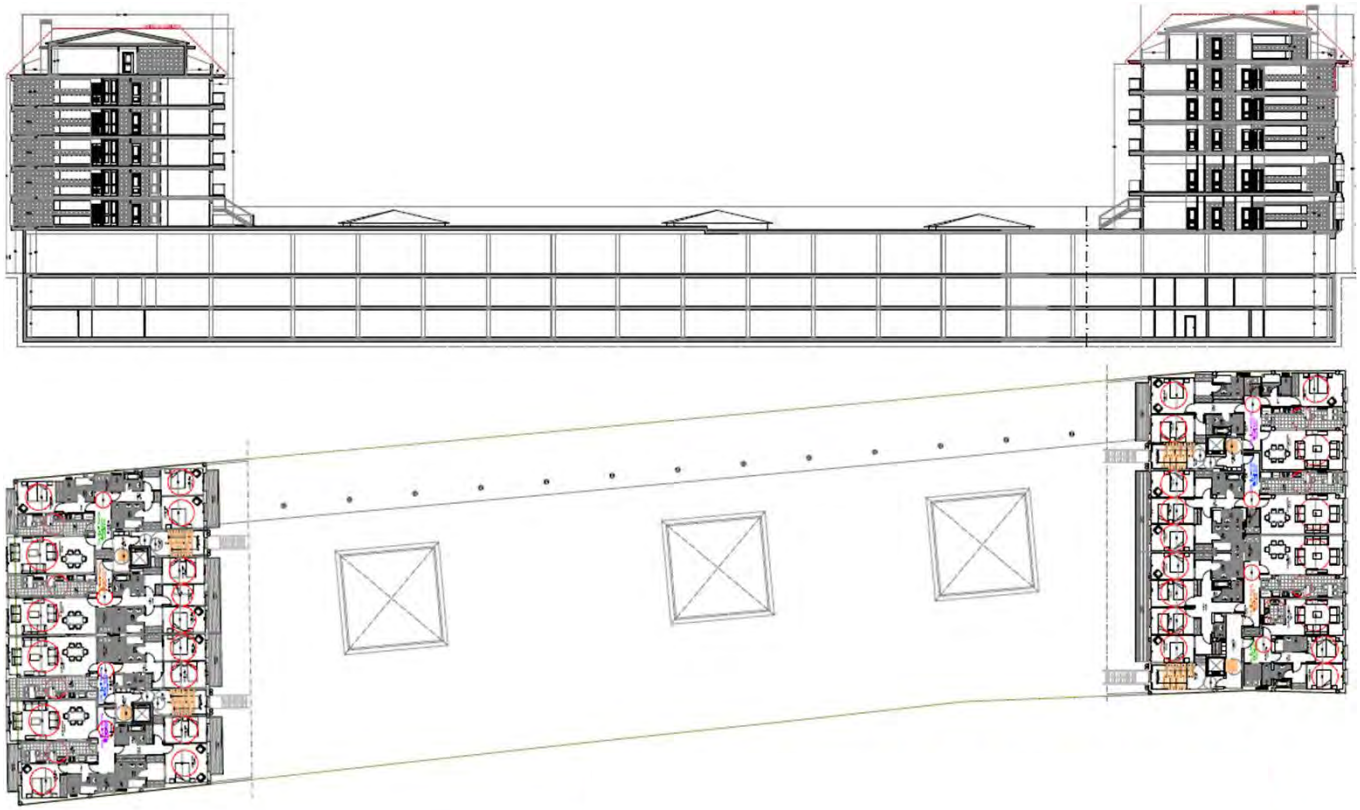
- Analizar la demanda de energía en viviendas iguales pero distintas.
- Verificar los datos obtenidos tras un año con los datos de estudio.
- Objetivo. ECCN – Passiv
- Definir la mejor relación inversión / ahorro energético

Edificio analizado

- El proyecto está en el centro de León y lleva más de un año en uso.
- Recopilamos datos de consumos y producciones en tiempo real

## Breve descripción del edificio

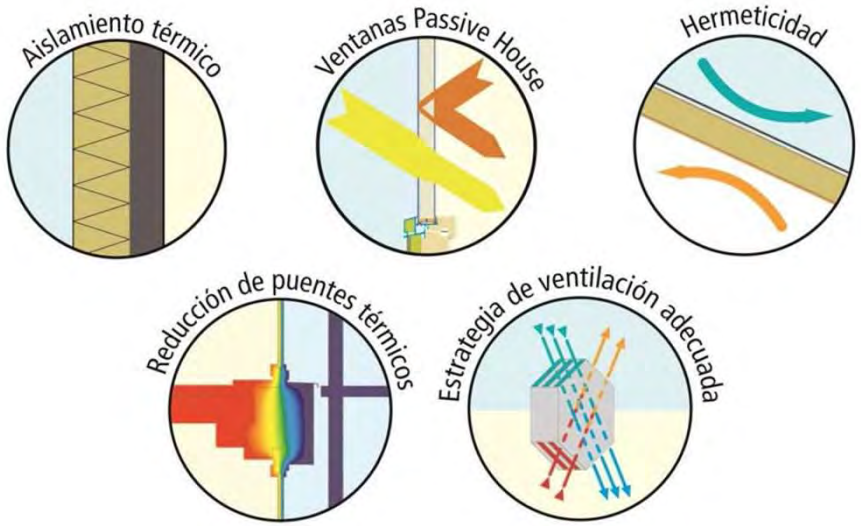
Parcela de 31 m de fachada a dos calles y 128 m de longitud, con dos bloques (23+20 viviendas) de 7 alturas a ambos extremos y dos portales cada uno y locales comerciales en planta baja



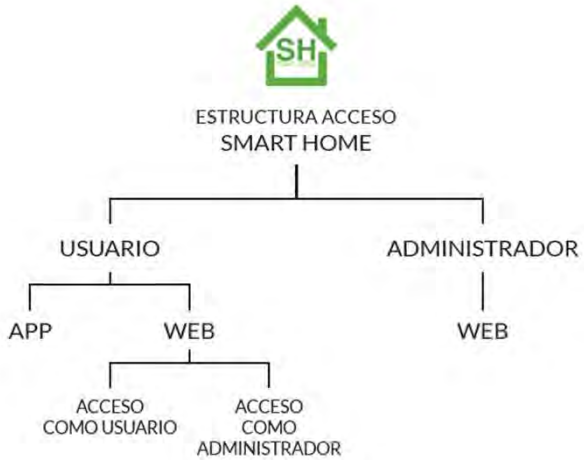
## Estándares passiv a analizar

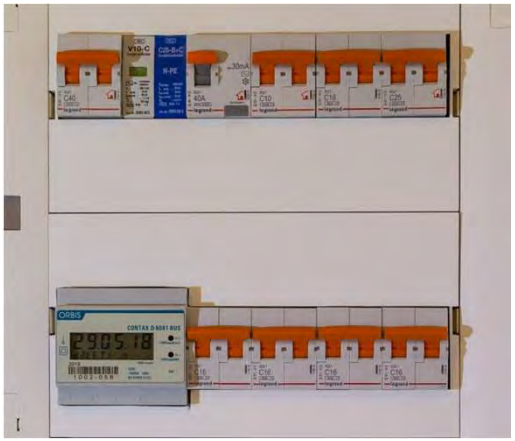
- Queremos analizar como funcionan viviendas iguales realizadas con distintos estándares passiv de manera aislada.

- Viviendas con combinaciones de los distintos estándares passiv.

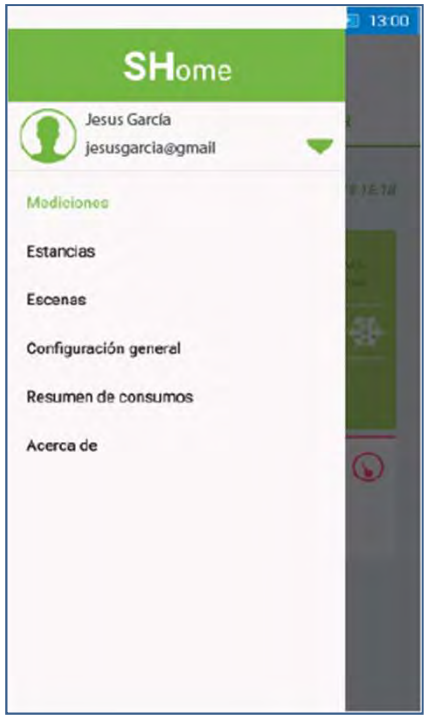


# 2 – Información, Control y Toma de datos



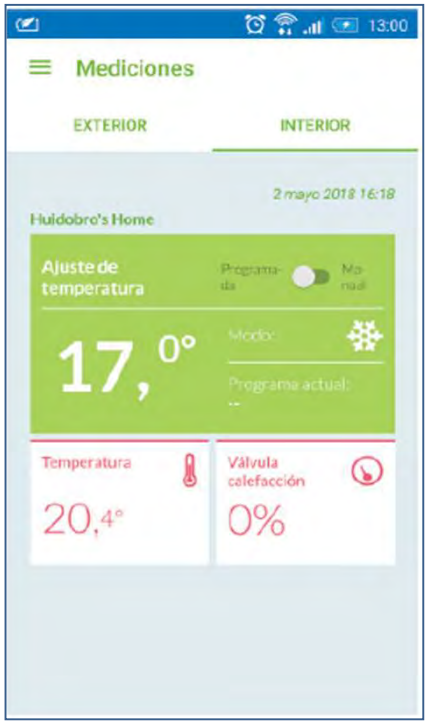


Cada usuario accede a los consumos de su vivienda y el administrador a todos los consumos de vecinos, producción, etc. Rroner.




**MENU**

**Datos térmicos exteriores**




**Datos térmicos interiores**

**Históricos y datos de consumo**

# 3 – Descripción de las distintas tipologías de vivienda

a) Vivienda básica, según criterios de proyecto, en el que las transmitancias de muros (0,38 w/m2·ºK) y huecos (2,24 w/m2·ºK) ya eran superiores a las prescritas por el CTE (0,57 y 3,1 w/m2·ºK respectivamente).
b) Vivienda mejorada en aislamiento (0,21 w/m2·ºK).
c) Vivienda minimizando los puentes térmicos de fachadas en contacto con forjados (transmitancia térmica lineal φ = 0,21 w/m·ºK).
d) Vivienda con carpintería exterior passiv.
e) Vivienda con barrera de hermeticidad y Ventilación Mecánica Controlada certificada passiv. “Lo invisible”
f) Suma de b + c + d “Lo visible”
g) Suma de b + c + d + e. Passiv.

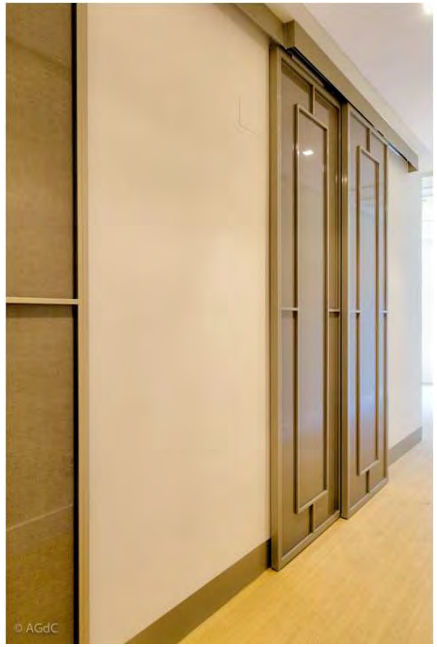
Vamos a analizar los datos reales de consumo de calefacción para cada vivienda a lo largo de un año.

| a. Vivienda básica (129 m2) | | |
|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 625 | 4,85 |
| noviembre | 1.490 | 11,55 |
| diciembre | 2.112 | 16,37 |
| enero | 2.472 | 19,16 |
| febrero | 1.978 | 15,33 |
| marzo | 1.409 | 10,92 |
| abril | 1.187 | 9,20 |
| mayo | 593 | 4,60 |
| TOTAL | 11.866 | 91,98 |

Las fachadas al patio interior se componen de 15 cm de ladrillo cara vista +capa de mortero de 2 cm + ½ pié de ladrillo semimacizo + 9 cm de lana mineral con una λ de 0,032 W/m·k + tabique de 7 cm + enlucido o alicatado.
Carpintería RehauEurodesing 70 con Uf de 1,30 w/m2k de (4/16/3+3be) con Ug de 0,70 w/m2k y un Uw 1,00 W/m2K
Ventilación mecánica Siber de simple flujo autoregulable

# Opción b) Aislamiento mejorado

| b. Aislamiento mejorado | | |
|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 503 | 3,90 |
| noviembre | 1.200 | 9,30 |
| diciembre | 1.700 | 13,18 |
| enero | 1.990 | 15,43 |
| febrero | 1.592 | 12,34 |
| marzo | 1.134 | 8,79 |
| abril | 955 | 7,40 |
| mayo | 478 | 3,70 |
| TOTAL | 9.552 | 74,05 |




Vivienda mejorada en aislamiento (0,21 w/m2·ºK)

# Opción c) Minimizar puentes térmicos

| c. Puentes térmicos minimizados | | |
|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 513 | 3,98 |
| noviembre | 1.223 | 9,48 |
| diciembre | 1.733 | 13,44 |
| enero | 2.029 | 15,73 |
| febrero | 1.623 | 12,58 |
| marzo | 1.157 | 8,97 |
| abril | 974 | 7,55 |
| mayo | 487 | 3,77 |
| TOTAL | 9.739 | 75,50 |

Vivienda minimizando los puentes térmicos de fachadas en contacto con forjados (transmitancia térmica lineal φ = 0,21 w/m·ºK)

# Opción d) Carpintería exterior passiv

| d. Carpintería exterior passiv | | |
|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 516 | 4,00 |
| noviembre | 1.231 | 9,54 |
| diciembre | 1.744 | 13,52 |
| enero | 2.042 | 15,83 |
| febrero | 1.634 | 12,66 |
| marzo | 1.164 | 9,02 |
| abril | 980 | 7,60 |
| mayo | 490 | 3,80 |
| TOTAL | 9.802 | 75,98 |

Vivienda Carpintería RehauSinego 80 con Uf de 0,94 w/m2k y acristalamiento (4be/16Ar/4/16Ar/3+3be) con Ug de 0,50 w/m2k y un Uw 0,71 W/m2K.

# Opción e) Barrera de hermeticidad + VMC

| e. Barrera de vapor + VMC recup. | | |
|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 356 | 2,76 |
| noviembre | 849 | 6,58 |
| diciembre | 1.203 | 9,32 |
| enero | 1.408 | 10,91 |
| febrero | 1.126 | 8,73 |
| marzo | 803 | 6,22 |
| abril | 676 | 5,24 |
| mayo | 338 | 2,62 |
| TOTAL | 6.759 | 52,39 |

Vivienda con barrera de hermeticidad Rothoblass y VMC con recuperador de calor y By pass Siber.
Datos de renovación del orden de 0.6 r/hora .

# Opción f) Aislamiento + P.T. + carpintería “lo visible”

| b+c+d. Aislam. + PT + carpintería passiv | | |
|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 308 | 2,39 |
| noviembre | 735 | 5,70 |
| diciembre | 1.041 | 8,07 |
| enero | 1.219 | 9,45 |
| febrero | 975 | 7,56 |
| marzo | 695 | 5,39 |
| abril | 585 | 4,54 |
| mayo | 293 | 2,27 |
| TOTAL | 5.851 | 45,36 |

Vivienda mejorada en toda la parte perimetral. La termografía.

# Opción g) Aislamiento + P.T. + carpintería + BH + VMC

| b+c+d+e. Aislam. + PT + carp. Passiv + BV + VMC | | |
|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 151 | 1,17 |
| noviembre | 359 | 2,79 |
| diciembre | 509 | 3,95 |
| enero | 596 | 4,62 |
| febrero | 477 | 3,70 |
| marzo | 340 | 2,63 |
| abril | 286 | 2,22 |
| mayo | 143 | 1,11 |
| TOTAL | 2.861 | 22,18 |

Vivienda con estándares casi de passiv.

# 4 – Análisis de resultados

Vamos a comparar las distintas tipologías.

| b. Aislamiento mejorado / c. Puentes térmicos minimizados | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 | | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 503 | 3,90 | | 513 | 3,98 |
| noviembre | 1.200 | 9,30 | | 1.223 | 9,48 |
| diciembre | 1.700 | 13,18 | | 1.733 | 13,44 |
| enero | 1.990 | 15,43 | | 2.029 | 15,73 |
| febrero | 1.592 | 12,34 | | 1.623 | 12,58 |
| marzo | 1.134 | 8,79 | | 1.157 | 8,97 |
| abril | 955 | 7,40 | | 974 | 7,55 |
| mayo | 478 | 3,70 | | 487 | 3,77 |
| TOTAL | 9.552 | 74,05 | | 9.739 | 75,50 |

Estas dos tipologías presentan ventajas similares, si bien técnica y económicamente son distintas.

## Aislamiento / carpintería exterior

| b. Aislamiento mejorado / d. Carpintería exterior passiv | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 | | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 503 | 3,90 | | 516 | 4,00 |
| noviembre | 1.200 | 9,30 | | 1.231 | 9,54 |
| diciembre | 1.700 | 13,18 | | 1.744 | 13,52 |
| enero | 1.990 | 15,43 | | 2.042 | 15,83 |
| febrero | 1.592 | 12,34 | | 1.634 | 12,66 |
| marzo | 1.134 | 8,79 | | 1.164 | 9,02 |
| abril | 955 | 7,40 | | 980 | 7,60 |
| mayo | 478 | 3,70 | | 490 | 3,80 |
| TOTAL | 9.552 | 74,05 | | 9.802 | 75,98 |

Estas dos tipologías presentan ventajas similares, si bien técnica y económicamente son distintas.

“no visible” / “visible”

| e. Barrera + VMC recup. / Aislam. + PT + carpintería passiv | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 | | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 356 | 2,76 | | 308 | 2,39 |
| noviembre | 849 | 6,58 | | 735 | 5,70 |
| diciembre | 1.203 | 9,32 | | 1.041 | 8,07 |
| enero | 1.408 | 10,91 | | 1.219 | 9,45 |
| febrero | 1.126 | 8,73 | | 975 | 7,56 |
| marzo | 803 | 6,22 | | 695 | 5,39 |
| abril | 676 | 5,24 | | 585 | 4,54 |
| mayo | 338 | 2,62 | | 293 | 2,27 |
| TOTAL | 6.759 | 52,39 | | 5.851 | 45,36 |

Estas combinaciones son bastante equivalentes.

Vivienda CTE / vivienda passiv

| a. Vivienda básica / Aislam. + PT + carp. Passiv + BV + VMC | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 | | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 625 | 4,85 | | 151 | 1,17 |
| noviembre | 1.490 | 11,55 | | 359 | 2,79 |
| diciembre | 2.112 | 16,37 | | 509 | 3,95 |
| enero | 2.472 | 19,16 | | 596 | 4,62 |
| febrero | 1.978 | 15,33 | | 477 | 3,70 |
| marzo | 1.409 | 10,92 | | 340 | 2,63 |
| abril | 1.187 | 9,20 | | 286 | 2,22 |
| mayo | 593 | 4,60 | | 143 | 1,11 |
| TOTAL | 11.866 | 91,98 | | 2.861 | 22,18 |

Ahorros del 75 % hacen muy viable su selección.
Confort térmico y salubridad

# 4 – Conclusiones

a) La vivienda básica tiene unos consumos CTE mejorados
b) El aislamiento supone un ahorro del 19 %
c) Los puentes térmicos hasta el 18 %
d) La carpintería exterior mejorada el 17 %
e) La VMC + Hermeticidad “lo invisible” el 43 %
f) b) + c) + d) “lo visible” el 51 %
g) b) + c) + d) + e) el 75 % de ahorro.

- Hay que dar capacidad decisoria al consumidor. Démosle herramientas.
- El primer paso para ahorrar energía es no malgastarla.
- Lo que no se mide, no se puede mejorar.

# Comparativa del consumo energético en viviendas con diferentes estándares Passiv, tras un año de implantación

joseguerra@garciadecelis.com

## II Congreso Internacional Ingeniería Energética

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

GARCÍA DE CELIS
Construcción Sostenible y Eficiente

The Association of Energy Engineers
Spain Chapter

www.aeespain.org

II CONGRESO DE INGENIERIA ENERGÉTICA

Madrid, 26 y 27 de Junio 2019

# Comparativa del consumo energético en viviendas con diferentes estándares Passiv, tras un año de implantación

**Autor: Jose Guerra Romero**[1] **Ingeniero I+D+i en Garcia de Celis S.L.**
**Autor: Tomás Martínez Garcia**[2] **Director técnico en Proyectos de ingeniería IDF**
**Autor: Jose M. Maestro Reguera**[3] **CEO León Control**

**1 Dirección: Avda. Ordoño II, 9, 24001, León** **joseguerra@garciadecelis.com**
**2 Dirección: Avda. de los Reyes Leoneses, 14, 24008, León** **tomas@idfingenieria.es**
**3 Dirección: Calle Nueve de Febrero, 5, 24005, León** **josemanuel@leoncontrol.es**

**Resumen**

El objetivo de esta ponencia es analizar el comportamiento energético de varias viviendas utilizando los datos de consumo obtenidos a lo largo del último año. Aunque todas ellas pertenecen al mismo edificio, se da la peculiaridad de que existen tipologías "iguales" en las que se han utilizado diferentes estándares de eficiencia a la hora de su construcción.
Ya en una fase previa, a petición de una de las empresas promotoras y constructoras, se planteó utilizar el edificio como una especie de laboratorio de ensayos de eficiencia energética. Es por ello que, entre las 43 viviendas que lo forman, se pueden localizar diferentes muestras y combinaciones de los cinco estándares passiv utilizados: aislamiento térmico en los cerramientos, ventanas, barrera de hermeticidad, reducción de los puentes térmicos y ventilación mecánica controlada.
La peculiaridad que lo hace diferente es que viviendas iguales están construidos con estándares distintos desde el punto de vista energético. Así un usuario que visite el 4º B o el 2º B no percibirá cambios en la distribución o en el tamaño de las estancias, aunque térmicamente estos sean drásticamente relevantes. Así nos encontramos con viviendas de consumo casi nulo y viviendas con los requisitos definidos en el Código Técnico de la Edificación.

**Palabras clave**: passiv, demanda, CTE, VMC, empoderar

**INDICE**


1. **Introducción. Objetivos del estudio.**
2. **Información y control a disposición del consumidor. Toma de datos**
3. **Descripción de las distintas tipologías de vivienda**
   a) Vivienda básica, según criterios de proyecto (CTE mejorado).
   b) Vivienda mejorada en aislamiento.
   c) Vivienda minimizando los puentes térmicos.
   d) Vivienda con carpintería exterior certificada passiv.
   e) Vivienda con barrera de hermeticidad y Ventilación Mecánica Controlada certificada passiv.
   f) Suma de b + c + d
   g) Suma de b + c + d + e
4. **Análisis de resultados**
5. **Agradecimientos**
6. **Referencias**

## 1. Introducción. Objetivos del estudio

Este estudio tiene por objetivo analizar la demanda de energía en varias viviendas tras el primer año de uso, dentro de un edificio de reciente construcción. En ellas se han aplicado y combinado diferentes estándares de eficiencia energética, que van desde el cumplimiento con los requisitos mínimos marcados por el CTE la implementación de los cinco estándares passiv, en busca de un consumo energético casi nulo.

***Figura 1.*** *Fachada del edificio objeto de análisis.*

Este proyecto parte de un estudio previo en el que habíamos tomado la decisión de estudiar cómo funciona un edificio con los distintos estándares passiv. Desde el punto de vista teórico teníamos analizado el mismo, pero se hizo una clara apuesta por tener datos empíricos.

La primera apuesta fue convencer a las distintas partes implicadas en el proyecto de lo interesante que podía ser obtener estos datos, siendo conscientes todos, que suponía una inversión que no siempre iba a pagar el cliente.

Otra de las ventajas con las que contábamos es que hemos hecho una integración de las lecturas de todos los contadores, de tal forma que cada usuario puede leer los suyos y el administrador lee los de todos los usuarios y los de la comunidad

Las lecturas se realizan tanto de los consumos por parte de los usuarios, como del consumo de los equipos de producción y de la energía generada por estos equipos.

Como punto de partida, se tomaron en consideración las siguientes tipologías de vivienda:

a) Vivienda básica, según criterios de proyecto, en el que las transmitancias de muros (0,38 w/m2·ºK) y huecos (2,24 w/m2·ºK) ya eran superiores a las prescritas por el CTE (0,57 y 3,1 w/m2·ºK respectivamente).
b) Vivienda mejorada en aislamiento (0,21 w/m2·ºK).
c) Vivienda minimizando los puentes térmicos de fachadas en contacto con forjados (transmitancia térmica lineal $\phi$ = 0,21 w/m·ºK).
d) Vivienda con carpintería exterior certificada passiv.
e) Vivienda con barrera de hermeticidad y Ventilación Mecánica Controlada certificada passiv.

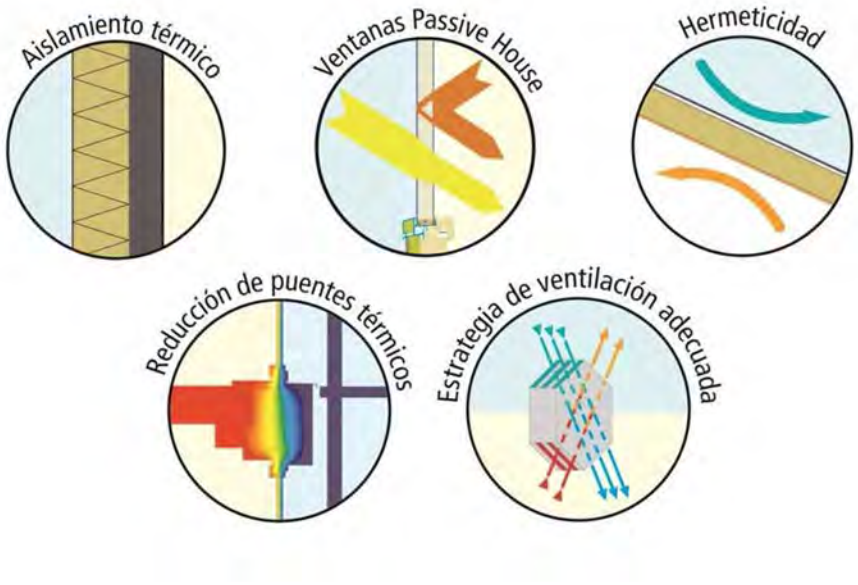



***Figura 2.*** *Cinco estándares para incorporar en una vivienda passiv.*

Para hacer que el estudio sea más preciso, se incluyen también viviendas en las que se combinan algunas de estas tipologías.

f) Suma de b + c + d + e
g) Suma de b + c + d

La empresa impulsora de este estudio energético, GARCIA DE CELIS, formó parte de la promotora y de la constructora, lo que nos permitió participar en la definición de los distintos elementos constructivos: envolventes, carpinterías, sistemas de ventilación, etc.

Aunque ya se tenía una estimación teórica de cómo afectarían los distintos estándares a la reducción de la demanda energética, se pretendía conocer en qué medida lo harían tras su implantación real.

En definitiva, el análisis de la información obtenida de la lectura de los contadores de energía instalados en las viviendas nos ha permitido conocer la influencia de cada uno de los estándares en un edificio real y avanzar en nuestro propósito: la construcción de viviendas más eficientes.

## 2. Información y control a disposición del consumidor. Toma de datos

Primero vamos a hacer una breve descripción del sistema general de producción y distribución de calor.

La promoción cuenta con dos salas de calderas instaladas en la cubierta de cada una de las dos torres. Una alimenta a 23 viviendas y la otra a 20.Cada sala, compuesta por dos (2) bombas de calor por absorción a gas, marca Robur, modelo GAHP-AR, de potencia 37,8 kW c/u y una (1) caldera de condensación a gas marca BuderusmodeloLogano plus GB312-160, de potencia160 kW, tiene una alimentación independiente desde la red de gas natural.

La producción se distribuye desde la sala a los patinillos de cada escalera por tuberías doblemente aisladas. Individualmente con coquilla Armaflex SH de 50 mm y posteriormente en un rack de tuberías forrado por panel sándwich de 60 mm y 0,34 w/m2k.

Desde aquí, se distribuyen por los patinillos situados al lado de las puertas de las viviendas, de forma que apenas hay distancia al punto de entrada a la vivienda.

Cada vivienda dispone de un contador de energía térmica con salida bus para lectura remota de todos los parámetros que nos ofrece.

Asimismo, incluye un contador volumétrico para ACS y otro para agua fría. Ambos con salida bus y también integrados en sistema centralizado de gestión del edificio.

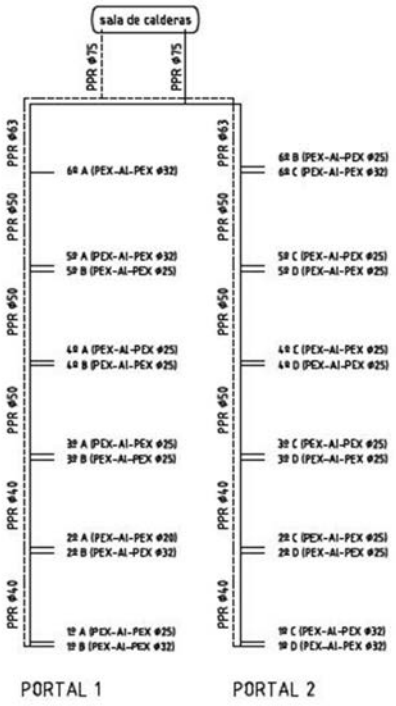



***Figura 3.*** *Esquema de distribución.*

Estos tres contadores homologados facilitan toda la información del edificio al administrador de la finca, para que realice el reparto de gastos a cada vecino.

Además, cada vecino accede a la información de su vivienda desde la aplicación que hemos desarrollado al efecto.

El control de la vivienda incorpora uno o varios termostatos, con conexión inalámbrica al dispositivo principal de la vivienda. Cada termostato actúa sobre la zona térmica definida. Así será zona norte y zona sur o toda la vivienda o salón o lo que cada vecino haya decidido.

Estos termostatos miden temperatura y humedad y se regulan de forma local y remota. Esto último está incorporado al sistema de gestión y control global. Pudiendo programarlos, etc.

Este dispositivo principal de la vivienda recibe e integra

- Lectura de contador de energía.
- Lectura de contador de ACS
- Lectura de contador de agua fría.
- Lectura, gestión y programación de termostato.

Y a mayores

- Lectura del contador de electricidad individual de la vivienda.
- Integración de la domótica KNX de la vivienda. Personalizada para cada usuario.

De esta forma cada usuario accede a su vivienda para conocer en cada momento todos sus consumos y opcionalmente a todo el abanico de posibilidades que da una domótica KNX personalizada.

Cada usuario podrá ver cuánto consume en cada intervalo de tiempo que seleccione y adaptar el funcionamiento de la misma al menor consumo energético y a unas buenas prácticas.

Una de las bazas que nos ha permitido llegar hasta aquí, fue nuestro empeño en dotar a cada vecino de herramientas para que pudieran gestionar y controlar los consumos energéticos en su vivienda.

Para mejorar los niveles de control e información de los usuarios, tanto en el ámbito comunitario como en el particular de cada vivienda, en este proyecto se desarrolló un sistema de gestión, control y monitorización de las viviendas y el edificio que integra distintos aspectos.

a) El edificio en su conjunto.
b) Cada vivienda individualmente.
c) Recarga de vehículo eléctrico.
d) Integración en una única aplicación.

a) Edificio en su conjunto.

La comunidad y su gestor van a ver en tiempo real los consumos de su edificio y podrá hacer un reparto justo de los mismos a cada vecino ya que sabrá cuanto es el coste fijo y cuanto el variable.

b) Cada vivienda individualmente.

Cada vecino tiene acceso a los consumos de su piso. Para esto tenemos instalados contadores de energía térmica calor/frío, así como contadores de energía eléctrica. Cada vivienda incluye también contadores de ACS y AFS.

- Conocer la Tª y humedad en tu casa.
- Controlar térmicamente tu casa.
- Conocer el consumo de energía térmica.
- De energía eléctrica.
- Consumo de ACS.
- Consumo de agua fría.

***Figura 4.*** *APP con acceso a la gestión y lectura de consumos de cada vivienda.*

De manera singular, integramos en esta misma aplicación otros usos

- Iluminación.
- Simulación de presencia.
- Persianas.
- Escenas.

Y un largo etc. A definir por el cliente

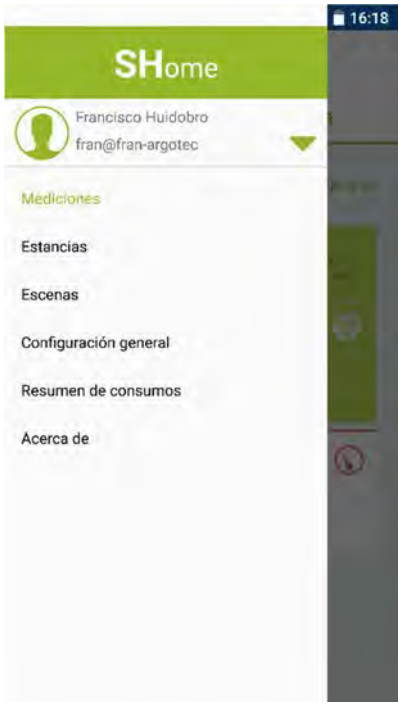



***Figura 5.*** *APP con acceso a las escenas, etc. de cada vivienda.*

Todo esto nos ha servido para tres cosas imprescindibles en nuestro proyecto.

- Empoderamiento al usuario
- Gestión, control de los consumos.
- Análisis de resultados con los datos obtenidos

## 3. Descripción de las distintas tipologías de viviendas.

Geométricamente el edificio presenta la siguiente configuración:

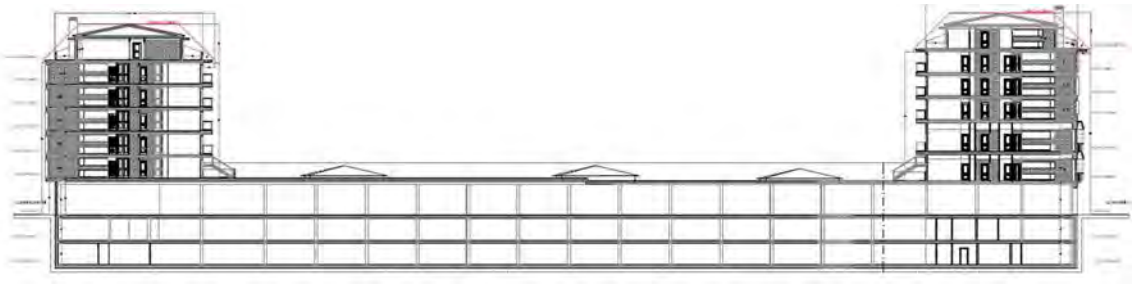


***Figura 6.*** *Sección geométrica del edificio objeto de análisis energético.*

El procedimiento comenzó con el estudio de las soluciones individuales, para pasar seguidamente a examinar las sumas o combinaciones más interesantes y representativas.

Dentro de las tipologías individuales no se contempla la colocación de barrera de vapor o de hermeticidad, ya que esta no es viable si no se instala junto con un sistema de ventilación eficiente. Más adelante lo detallamos.

## TIPOLOGÍAS Y RESULTADOS.

**a) Vivienda básica, según criterios de proyecto, en el que las transmitancias de muros (0,38 w/m2·ºK) y huecos (2,24 w/m2·ºK) ya eran superiores a las prescritas por el CTE (0,57 y 3,1 w/m2·ºK respectivamente).**

Lo primero es establecer el punto de partida básico en lo referente a la demanda de energía. Para esto vamos a detallar los componentes de la envolvente en el caso CTE y analizar la demanda de este tipo de viviendas.

Podremos comparar en primer término los dos extremos, CTE frente a una vivienda con los cinco estándares passiv.

Hay viviendas que se han construido según estaba previsto en el proyecto básico, cumpliendo el CTE. Todas incluyen este mínimo básico.

El edificio objeto del proyecto está localizada en una parcela de forma casi rectangular (31 m de fachada a dos calles y 128 m de longitud), con dos bloques de 7 alturas a ambos extremos y dos portales cada uno. Los portales 1 y 2 (23 viviendas) están situados en la Avda. Ordoño II y los portales 3 y 4 en la calle San Agustín (20 viviendas). En planta baja, ocupando la totalidad de la parcela, se proyectan locales comerciales y en planta sótano 1 y sótano 2, plazas de aparcamiento, trasteros y recintos para instalaciones.

Las viviendas se distribuyen en seis plantas (1ª a 6ª) y la planta de cubierta alberga las salas de calderas de cada uno de los bloques.

Las dos primeras plantas de Ordoño II, por la necesidad de su conservación, mantienen la fachada del antiguo edificio, estando, por tanto, su parte exterior compuesta por una capa de mortero de 2 cm + 60 cm de fábrica de ladrillo + 9 cm de lana mineral con una λ de 0,032 W/m·k.

En la parte interior de este paramento y en el resto de paramentos se han adoptado dos soluciones diferentes, una diseñada para que las viviendas en las que se aplica obtengan una calificación energética “A” y la otra en la que se obtiene una calificación energética “B”. Esta diferencia está motivada por el interés de la promotora de conocer la rentabilidad de adoptar una solución más o menos exigente tras la monitorización de su funcionamiento.

En las dos primeras plantas de Ordoño II, la parte interior de este paramento está compuesto por tabique de 7 cm + enlucido o alicatado.

El resto de las fachadas a Ordoño y San Agustín se componen de Aplacado de 2 cm Capa de mortero de 2 cm + 9 cm de lana mineral con una λ de 0,032 W/m·k + tabique de 7 cm + enlucido o alicatado.

Las fachadas al patio interior se componen de 15 cm de ladrillo cara vista +capa de mortero de 2 cm + ½ pié de ladrillo semimacizo + 9 cm de lana mineral con una λ de 0,032 W/m·k + tabique de 7 cm + enlucido o alicatado.

Carpintería RehauEurodesing 70 con Uf de 1,30 w/m2k de (4/16/3+3be) con Ug de 0,70 w/m2k y un Uw 1,00 W/m2K

Ventilación mecánica Siber de simple flujo autoregulable.

Todo esto da los siguientes resultados:

*Tabla 1. Datos obtenidos para la vivienda básica según CTE.*

| a. Vivienda básica (129 m2) | | |
|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 625 | 4,85 |
| noviembre | 1.490 | 11,55 |
| diciembre | 2.112 | 16,37 |
| enero | 2.472 | 19,16 |
| febrero | 1.978 | 15,33 |
| marzo | 1.409 | 10,92 |
| abril | 1.187 | 9,20 |
| mayo | 593 | 4,60 |
| TOTAL | 11.866 | 91,98 |

**b) Vivienda mejorada en aislamiento (0,21 w/m2·ºK).**

A otras viviendas se les incrementó el aislamiento exterior hasta casi duplicar el de proyecto.

Se cuidó detalladamente que la envolvente térmica quedara completamente resuelta. Este aislamiento solo se incrementó en las partes ciegas, dejando las carpinterías tal y como estaban en el modelo básico.

*Tabla 2. Datos obtenidos para la vivienda mejorada en aislamiento.*

| b. Aislamiento mejorado | | |
|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 503 | 3,90 |
| noviembre | 1.200 | 9,30 |
| diciembre | 1.700 | 13,18 |
| enero | 1.990 | 15,43 |
| febrero | 1.592 | 12,34 |
| marzo | 1.134 | 8,79 |
| abril | 955 | 7,40 |
| mayo | 478 | 3,70 |
| TOTAL | 9.552 | 74,05 |

**c) Vivienda minimizando los puentes térmicos de fachadas en contacto con forjados (transmitancia térmica lineal $\phi$ = 0,21 w/m·ºK).**

En estas, se tuvo un especial cuidado para minimizar los puentes térmicos. Las soluciones fueron de detalle para las viviendas afectadas.

*Tabla 3. Datos obtenidos para la vivienda minimizando los puentes térmicos.*

| c. Puentes térmicos minimizados | | |
|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 513 | 3,98 |
| noviembre | 1.223 | 9,48 |
| diciembre | 1.733 | 13,44 |
| enero | 2.029 | 15,73 |
| febrero | 1.623 | 12,58 |
| marzo | 1.157 | 8,97 |
| abril | 974 | 7,55 |
| mayo | 487 | 3,77 |
| TOTAL | 9.739 | 75,50 |

**d) Vivienda con carpintería exterior certificada passiv.**
Aquí cambiamos las carpinterías exteriores a triple cristal con argón, bajo emisivo, intercalario cerámico.

*Tabla 4. Datos obtenidos para la vivienda con carpintería exterior certificada passiv.*

| d. Carpintería exterior passiv | | |
|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 516 | 4,00 |
| noviembre | 1.231 | 9,54 |
| diciembre | 1.744 | 13,52 |
| enero | 2.042 | 15,83 |
| febrero | 1.634 | 12,66 |
| marzo | 1.164 | 9,02 |
| abril | 980 | 7,60 |
| mayo | 490 | 3,80 |
| TOTAL | 9.802 | 75,98 |

El siguiente paso era analizar grupos de estas soluciones. Para esto tomamos tres grupos bien diferenciados.

La parte de infiltraciones no deseadas y pérdida por renovación de aire ya calentado. Un aspecto que está poco analizado y que en un periodo espacio de tiempo puede tener valores muy diferenciados, pero que a lo largo de un año, nos da una preponderancia mucho más significativa de lo que cabía esperar.
La parte correspondiente a la envolvente física de la vivienda con el exterior. Muy analizada y un buen recurso de venta para fabricantes de SATE (Sistemas de aislamiento térmico exterior) y para fabricantes de carpinterías exteriores.
Por último, la suma de todas estas.

**e) Vivienda con barrera de hermeticidad y Ventilación Mecánica Controlada certificada passiv.**

Para acabar, en alguna vivienda se instaló la VMC en lugar de una ventilación simple acompañado de una barrera de hermeticidad que logra resultados del orden de 0.6 renovaciones/hora según las condiciones prescritas.

Siguiendo este planteamiento, establecimos el segundo grupo coherente. Era el relacionado con las pérdidas por infiltración y por ende el descontrol en las pérdidas por la ventilación.

Decidimos dotar a unas viviendas de barrera de hermeticidad acompañada de un sistema de ventilación mecánica controlada con recuperación de calor y bypass.

Esta opción ha sido la más sorprendente en cuanto a resultados.
Observamos que los datos obtenidos día a día experimentaban variaciones significativas que nos hicieron dar vueltas para sacar conclusiones razonables. A pesar de que en la vivienda básica hay una ventilación mecánica simple, notamos diferencias los días de vientos más fuertes, penalizando estos días el consumo de calefacción. Por el contrario en este tipo de vivienda no se ve afectado de la misma manera y apenas es perceptible en los datos del consumo.

***Figura 4.****Equipo de VMC instalado en alguna vivienda.*

***Tabla 5.*** *Datos obtenidos para la vivienda con barrera de hermeticidad y VMC.*

| **e. Barrera de vapor + VMC recup.** | | |
|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 356 | 2,76 |
| noviembre | 849 | 6,58 |
| diciembre | 1.203 | 9,32 |
| enero | 1.408 | 10,91 |
| febrero | 1.126 | 8,73 |
| marzo | 803 | 6,22 |
| abril | 676 | 5,24 |
| mayo | 338 | 2,62 |
| TOTAL | 6.759 | 52,39 |

**f) Suma de b + c + d**

El siguiente planteamiento fue establecer grupos más o menos coherentes que afectaran de forma similar al ahorro energético.

Desde el primer momento teníamos claro que uno sería el que afecta a toda la envolvente más física. Por esto dotamos a alguna vivienda de un aislamiento incrementado, cuidando con detalle los puentes térmicos y dotando a la vivienda de unas ventanas de triple cristal con argón, intercalario cerámico y bajo emisivo. Esta estructura constructiva pretende aportar un sistema clásico mejorado en el que se tiene en cuenta todo lo que envuelve a la vivienda y especialmente lo que afecta hacia el exterior.

Cuando se hacen análisis con cámara termográfica se toman en cuenta estos tres parámetros. Teníamos mucho interés en ver la relevancia de los mismos tomado en conjunto y de forma independiente de los otros dos.

Los parámetros físicos son los definidos en los casos anteriores.

Todo esto da los siguientes resultados:

***Tabla 6.*** *Datos obtenidos para la vivienda suma de b + c + d.*

| **b+c+d. Aislam. + PT + carpintería passiv** | | |
|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 308 | 2,39 |
| noviembre | 735 | 5,70 |
| diciembre | 1.041 | 8,07 |
| enero | 1.219 | 9,45 |
| febrero | 975 | 7,56 |
| marzo | 695 | 5,39 |
| abril | 585 | 4,54 |
| mayo | 293 | 2,27 |
| TOTAL | 5.851 | 45,36 |

**g) Suma de b + c + d + e. Aislam. + PT + carp. Passiv + BV + VMC**

En las dos primeras plantas de Ordoño II, están formadas por 2 cm de mortero + una fábrica de ladrillo de 60 cm a restaurar + 9 cm de lana mineral con una λ de 0,032 W/m·k + 3 cm de extruido perimetralmente + Barrera de hermeticidad de Rothoblass + tabique de 7 cm + enlucido o alicatado.

El resto de las fachadas a Ordoño II y San Agustín se componen de aplacado de 2 cm, capa de mortero de 2 cm + 9 cm de lana mineral con una λ de 0,032 W/m·k + 3 cm de extruido perimetralmente + Barrera de hermeticidad de Rothoblass + tabique de 7 cm + enlucido o alicatado.

Las fachadas al patio interior se componen de 15 cm de ladrillo cara vista +capa de mortero de 2 cm + ½ pié de ladrillo semimacizo + 9 cm de lana mineral con una λ de 0,032 W/m·k + 3 cm de extruido perimetralmente + Barrera de hermeticidad de Rothoblass + tabique de 7 cm + enlucido o alicatado.

Carpintería RehauSinego 80 con Uf de 0,94 w/m2k y acristalamiento (4be/16Ar/4/16Ar/3+3be) con Ug de 0,50 w/m2k y un Uw 0,71 W/m2K.

Ventilación mecánica controlada Siber de doble flujo con recuperador de calor y Bypass incorporado de alta eficiencia.

***Tabla 7.*** *Datos obtenidos para la vivienda suma de b + c + d + e.*

| **b+c+d+e. Aislam. + PT + carp. Passiv + BV + VMC** | | |
|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 151 | 1,17 |
| noviembre | 359 | 2,79 |
| diciembre | 509 | 3,95 |
| enero | 596 | 4,62 |
| febrero | 477 | 3,70 |
| marzo | 340 | 2,63 |
| abril | 286 | 2,22 |
| mayo | 143 | 1,11 |
| TOTAL | 2.861 | 22,18 |

## 4. Análisis de resultados

Vamos a comparar las distintas opciones planteadas para llegar a las conclusiones del estudio.

a) El punto de partida ya es el de una vivienda con unas buenas características, con un consumo anual de 11.866 kWh (unos 92 kWh/m2 · año). Se trata de un dato más que aceptable, teniendo en cuenta que durante el mes de enero (responsable de, aproximadamente, el 21% del consumo) se estima un uso de unas 8 horas, repartido en dos tramos.

b) Vemos que la mejora en el aislamiento ha supuesto un ahorro de 2.314 kWh, lo que significa el 19,5% (el consumo es un 80,5% del de la vivienda base) y está consumiendo sobre 74 kWh/m2 · año. Mejorar el aislamiento de manera unitaria supone un coste muy bajo para el conjunto de la obra y redunda en un ahorro significativo.

***Tabla 8.*** *Comparativo asilamiento / puentes térmicos*

| | **b. Aislamiento mejorado / c. Puentes térmicos minimizados** | | | |
|---|---|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 503 | 3,90 | 513 | 3,98 |
| noviembre | 1.200 | 9,30 | 1.223 | 9,48 |
| diciembre | 1.700 | 13,18 | 1.733 | 13,44 |
| enero | 1.990 | 15,43 | 2.029 | 15,73 |
| febrero | 1.592 | 12,34 | 1.623 | 12,58 |
| marzo | 1.134 | 8,79 | 1.157 | 8,97 |
| abril | 955 | 7,40 | 974 | 7,55 |
| mayo | 478 | 3,70 | 487 | 3,77 |
| TOTAL | 9.552 | 74,05 | 9.739 | 75,50 |

c) Al minimizar al máximo los puentes térmicos se ahorran 2.126 kWh. El consumo de la vivienda se ha visto reducido en casi el 18%. La lectura es de 75,5 kWh/m2 · año

Podemos observar que en este proyecto mejora de forma similar el incrementar el aislamiento de las fachadas tanto como resolver los puentes térmicos.

Mientras que incrementar el aislamiento es una solución económica y fácil de ejecutar, la resolución de los puentes térmicos tiene especial complejidad y requiere de un análisis técnico y ejecución más detallaos. Tal es así, que conviene que sea personal cualificado quien lo ejecute y apoyado por una solución técnica específica para cada puente.

d) El aporte individual de la carpintería exterior passiv ahorra 2.064 kWh. Está teniendo un resultado similar a la mejora en puentes térmicos, por encima del 17%. El consumo ronda los 76 kWh/m2 · año.

***Tabla 9.*** *Comparativo asilamiento / Carpintería mejorada*

| b. Aislamiento mejorado / d. Carpintería exterior passiv | | | | |
|---|---|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 503 | 3,90 | 516 | 4,00 |
| noviembre | 1.200 | 9,30 | 1.231 | 9,54 |
| diciembre | 1.700 | 13,18 | 1.744 | 13,52 |
| enero | 1.990 | 15,43 | 2.042 | 15,83 |
| febrero | 1.592 | 12,34 | 1.634 | 12,66 |
| marzo | 1.134 | 8,79 | 1.164 | 9,02 |
| abril | 955 | 7,40 | 980 | 7,60 |
| mayo | 478 | 3,70 | 490 | 3,80 |
| TOTAL | 9.552 | 74,05 | 9.802 | 75,98 |

También cabe destacar que el mejorar las carpinterias de manera única ahorra un porcentaje significativo, si bien es cierto, que el coste económico es más elevado que las mejoras en aislamientos y puentes térmicos.

e) Como era de esperar, la ventilación mecánica controlada con una eficiente recuperación de calor en conjunto con la barrera de vapor es la medida que más reduce el consumo. Se ahorran 5.107 kWh, rondando el 43% con respecto a la vivienda de referencia. Se mueve alrededor de los 52 kWh/m2 · año.

Este es un tándem muy eficaz. El precio de inversión es sustancialmente alto, pero se obtiene un retorno de la misma en un periodo razonable. No entramos a valorar las innumerables ventajas que tiene para la salud su instalación, no tanto por la filtración del aire en el interior de la vivienda, si no por la reducción de los niveles de CO2 en el aire.

Nuestra opinión, a la vista de los resultados, es que este tándem debería estar incluido en las exigencias del nuevo Código Técnico de la Efificación.

f) El conjunto "aislamiento + puentes térmicos + carpintería passiv" está produciendo un ahorro de 6.015 kWh. Esto da como resultado una mejora de cerca de un 51%. La vivienda está consumiendo algo más de 45 kWh/m2 · año.

***Tabla 10.*** *Comparativo "no visible" / "visible"*

| e. Barrera + VMC recup. / Aislam. + PT + carpintería passiv | | | | |
|---|---|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 356 | 2,76 | 308 | 2,39 |
| noviembre | 849 | 6,58 | 735 | 5,70 |
| diciembre | 1.203 | 9,32 | 1.041 | 8,07 |
| enero | 1.408 | 10,91 | 1.219 | 9,45 |
| febrero | 1.126 | 8,73 | 975 | 7,56 |
| marzo | 803 | 6,22 | 695 | 5,39 |
| abril | 676 | 5,24 | 585 | 4,54 |
| mayo | 338 | 2,62 | 293 | 2,27 |
| TOTAL | 6.759 | 52,39 | 5.851 | 45,36 |

Estas dos soluciones son las que más curiosidad nos crearon. Lo "no visible" frente a lo "visible". La solución de la barrera de hermeticidad y VMC frente al aislamiento mejorado más resolución de puentes térmicos y carpintería mejorada. Este segundo caso es el que se plantea a los clientes de edificios a rehabilitar de manera habitual. Es habitual hacer una termografía de la fachada antes y después para ver el efecto que causa. La mejora es muy importante, pero no dista mucho de la "no visible"

g) Los datos que se obtienen de la vivienda "tipo passiv" nos dicen que el ahorro en consumo está siendo de 9.005 kWh, más de un 75% menor que el de la vivienda base. Mediante la implantación de este conjunto de medidas se ha logrado alcanzar un consumo de poco más de 22 kWh/m2 · año.

***Tabla 11.*** *Comparativo vivienda CTE / vivienda passiv*

| a. Vivienda básica / Aislam. + PT + carp. Passiv + BV + VMC | | | | |
|---|---|---|---|---|
| CONSUMOS ENERGÉTICOS | kWh | kWh/m2 | kWh | kWh/m2 |
| octubre | 625 | 4,85 | 151 | 1,17 |
| noviembre | 1.490 | 11,55 | 359 | 2,79 |
| diciembre | 2.112 | 16,37 | 509 | 3,95 |
| enero | 2.472 | 19,16 | 596 | 4,62 |
| febrero | 1.978 | 15,33 | 477 | 3,70 |
| marzo | 1.409 | 10,92 | 340 | 2,63 |
| abril | 1.187 | 9,20 | 286 | 2,22 |
| mayo | 593 | 4,60 | 143 | 1,11 |
| TOTAL | 11.866 | 91,98 | 2.861 | 22,18 |

Por último, está comparar nuestra vivienda CTE con la vivienda con todos los "extras". La diferencia de consumo es muy grande y los ahorros energéticos tienen un retorno en un plazo más que razonable.

A esto hay que añadir todo lo que es subjetivo, como es el confort térmico, la homogeneidad en todos los espacios de la vivienda. Y por otro lado hay que tener en cuenta la mejora de la calidad del aire en la vivienda y muy especialmente en los dormitorios donde conseguimos unos niveles de CO2 acordes a los requerimientos establecidos.

Como conclusión final.

- Hay que dar capacidad decisoria al consumidor. Démosle herramientas.
- El primer paso para ahorrar energía es no malgastarla.
- Lo que no se mide, no se puede mejorar.

## 5. Agradecimientos

Quiero agradecer a Tomás Martínez Garcia y Juan Carlos Morán Alonso de Proyectos de Ingeniería IDF así como a Jose Manuel Maestro Reguera de Leon Control S.L. por su colaboración en el estudio, desarrollo y análisis de las soluciones implementadas. Especialmente por la valentía de buscar alternativas poco ortodoxas, dar solución a las ideas que planteo y arriesgar en la búsqueda de soluciones.

## 6. Referencias

Código Técnico de la Edificación y RITE

www.passiv.de

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

15:50 - 17:50

**SESIÓN 6 Track B. MyV y COMISSIONING**

Modera: Rafael Poquet. **EMIN.ENERGY**

"Establecimiento y control de criterios que aseguren la calidad en los procesos de Commissioning" **Juan Manuel García Sánchez.** Gerente de Energía. **AENOR**

"Aplicación del Commissioning en las Certificaciones Sostenibles Leed" **Josep Masach.** CEO. **PROISOTEC ENGINYERIA**

"Mejora de la eficiencia de las plantas mediante sistema de monitorización TecOS-SOLCEP" **Francisco Javier González** Responsable Operaciones. **TECNATOM**

"Caso práctico de aplicación del retrocommissioning en un aulario de la Universidad Rey Juan Carlos" **Javier Orellana Sanz.** Gestor Energético Unefe **UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS (URJC)**

"IPMVP para calcular los ahorros, pero ¿puede haber 10% de diferencia en ahorro en Coste Evitado vs Ahorro Normalizado?" **María Cubillo Sagüés.** CEO. **SinCeO2 CONSULTORÍA ENERGÉTICA**

# Establecimiento y control de criterios que aseguren la calidad en los procesos de Commissioning

Juan Manuel García Sánchez

AENOR

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

AENOR

iENER'19

# Índice


1 INTRODUCCIÓN. PROPÓSITO Y DEFINICIÓN

2 QUÉ VENTAJAS APORTA

3 SITUACIÓN ACTUAL. NECESIDAD DEL COMMISSIONING

4 TIPOS DE COMMISSIONING

5 EL COMMISSIONING EN NUEVA CONSTRUCCIÓN (NC)

6 EL COMMISSIONING EN EDIFICIOS EXISTENTES (EB)

7 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN EL COMMISSIONING NC

8 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN EL COMMISSIONING EB

AENOR

iENER'19

## 1. Introducción.

### AENOR INTERNACIONAL S.A.U

- **AENOR INTERNACIONAL, S.A.U**. (en adelante **AENOR**), es una Sociedad Mercantil dedicada a las actividades de **evaluación de la conformidad,** reconocida en los ámbitos nacional, comunitario e internacional.

- **AENOR** tiene el propósito de contribuir, mediante el desarrollo de las actividades de **evaluación de la conformidad y de certificación,** a mejorar la calidad en las empresas, sus productos y servicios, proteger el Medio Ambiente, así como el desarrollo sostenible de los países y, con ello, el bienestar de la sociedad.

- **Miembro de IQnet**

# 1. Introducción.

En la actualidad, un gran número de los edificios existentes y en diseño del parque instalado presente y proyectado a futuro, presentan un enorme potencial de mejora funcional y de prestaciones.

Atendiendo a la definición de Commissioning según Ashrae:

***"Servicio enfocado a la calidad para reforzar la entrega de un proyecto, centrado en verificar y documentar que la instalación y todos sus sistemas están planificados, instalados, comprobados, operados y mantenidos para reunir los requisitos fijados por el cliente en todo el ciclo de vida del edificio"***

Por lo tanto, las labores de comisionado realizadas de una forma profesional y con un marchamo de calidad pueden evitar dichas deficiencias, representando estas labores mucho más que una mera puesta en marcha.

AENOR

## 2. ¿Qué Ventajas Aporta?

- **Garantizar** que todos los sistemas que componen un edificio **funciona interactivamente** según su **diseño original;**

- **maximizar el rendimiento sistemas y equipos** a largo plazo, **mejorando su vida útil**;

- disponer de **instalaciones más eficientes, fiables y seguras**;

- **mejora el confort** de los usuarios y su **productividad**;

- optimiza la explotación y mantenimiento del edificio, **reduciendo sus costes**;

- disponer de una **documentación completa**;

- **mejora la capacitación** del personal de mantenimiento;

- es una **parte básica para realizar una buena Gestión Energética**;

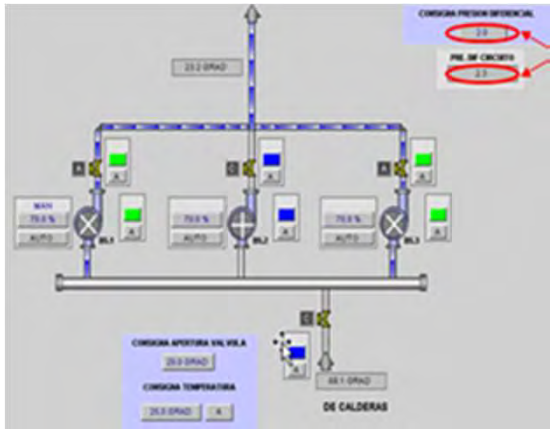
- complementa a la Auditoría Energética, centrándose en las **oportunidades de tipo Operación y Mantenimiento** (O&M).

## 3. Situación actual. Necesidad

En muchos emplazamientos nos encontramos: con unas **instalaciones mal proyectadas y/o una puesta en marcha no realizada y/o un mantenimiento defectuoso** de las instalaciones, **equipos lejos de sus rendimientos óptimos** y en muchos casos con la imposibilidad física de transmitir la totalidad de la potencia instalada.
Provocando, en esencia, una **falta de confort y una ineficiencia** de las instalaciones.

Fugas

Estrangulamientos



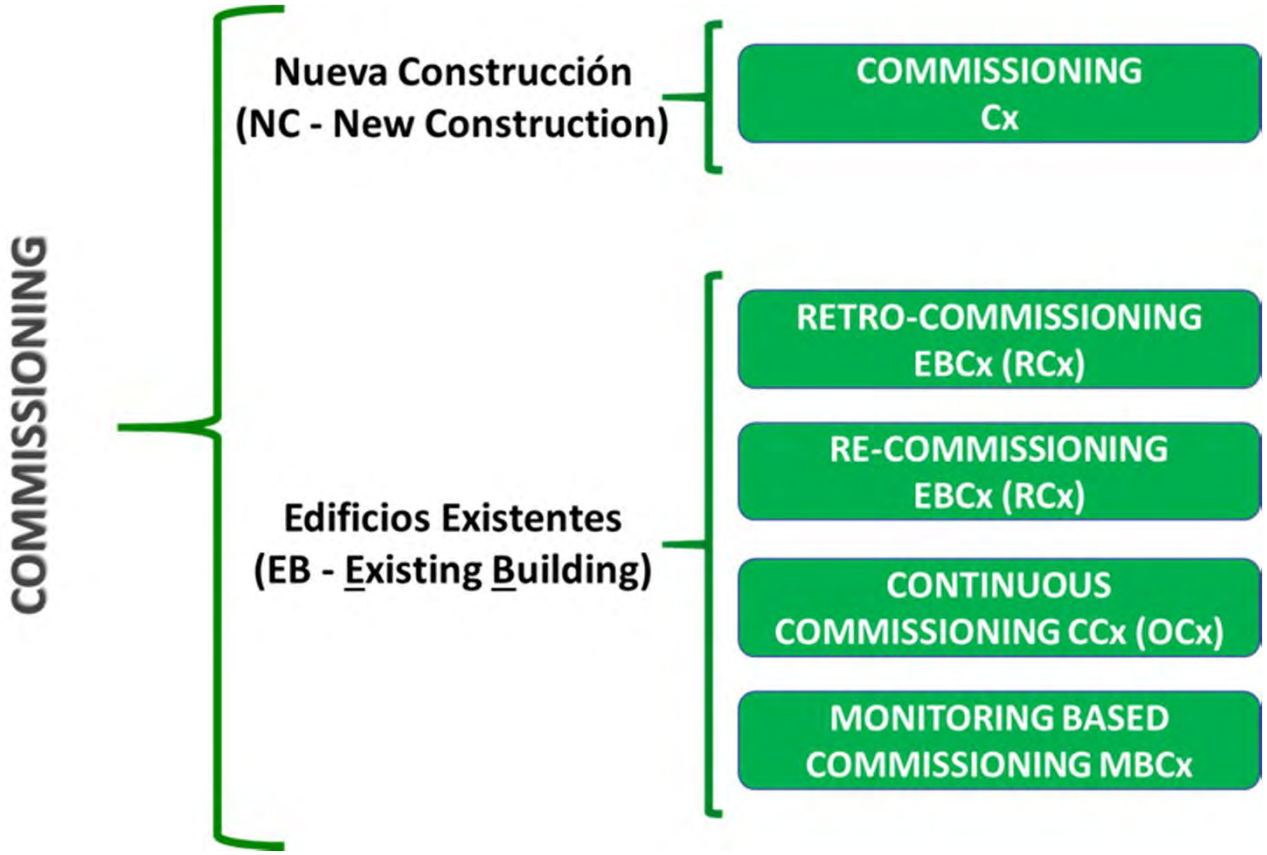
MAL funcionamiento BMS

(fuente. URJC/CELLCOMM)

AENOR

iENER'19

## 4. Tipos de Commissioning




(fuente. URJC)

## 5. El Commissioning en Nueva Construcción (NC)

El comisionado radica en: documentar las **necesidades** de la Propiedad; documentar el razonamiento y las **decisiones** de los equipos de diseño; realizar **revisiones** de los proyectos durante la fase de diseño; definir, especificar, planificar y **verificar** la puesta en marcha y las pruebas funcionales de la construcción; mejorar la **coordinación e integración** de las operaciones de construcción; hacer que los sistemas trabajen **eficientemente**; mejorar la documentación de los sistemas; mejorar la **capacitación** del personal de mantenimiento.

Consta de las siguientes fases:

+ Prediseño,
+ Diseño,
+ Construcción,
+ Ocupación, explotación,

## 5. El Commissioning en Nueva Construcción (NC)

La relación ahorros/costes de este proceso de forma general se puede cifrar en:

+ un **coste del 0,5 al 3%** del coste total **del sistema** a comisionar / **1% del coste total de la construcción**;

+ **ahorros de energía** debidos al Cx que oscilan **entre el 13 % y el 50%** con menos de **4 años de retorno** de la inversión.
(fuente AEE – curso CBCP)

Los **Beneficios** más habituales obtenidos son: **mejor coordinación** entre consultores y contratistas; puesta en marcha y entrega más fluida; **edificios más económicos** de construir y operar; **edificios más confortables** conllevan mayor **productividad**; consumo de energía **eficiente**; reducción del impacto ambiental – **menor huella ambiental** y personal de **O&M mejor formado** para brindar un ambiente seguro, confortable y productivo.

## 6. El Commissioning en Edificios Existentes (EB)

El retrocomisionado consiste en: **investigar, analizar y optimizar** el funcionamiento de las instalaciones de un edificio existente, buscando **identificar e implementar actuaciones de bajo coste** que **aseguren** el mantenimiento **de rendimientos operativos y prolongue la vida útil** del edificio. A su vez se constituye como una medida esencial para la mejora energética en edificios.

Consta de las siguientes fases:

+ Planificación,
+ Auditoría funcional,
+ Implantación de mejoras,
+ Entrega y seguimiento.

## 6. El Commissioning en Edificios Existentes (EB)

La relación ahorros/costes de este proceso de forma general se puede cifrar en:

+ **una reducción de costes** de explotación: **5 – 15% pudiendo llegar al 25%;**

+ El período medio de **amortización** de un Retrocommissioning es de**: 0,5 a 1,5 años.**

(fuente AEE – curso CBCP)

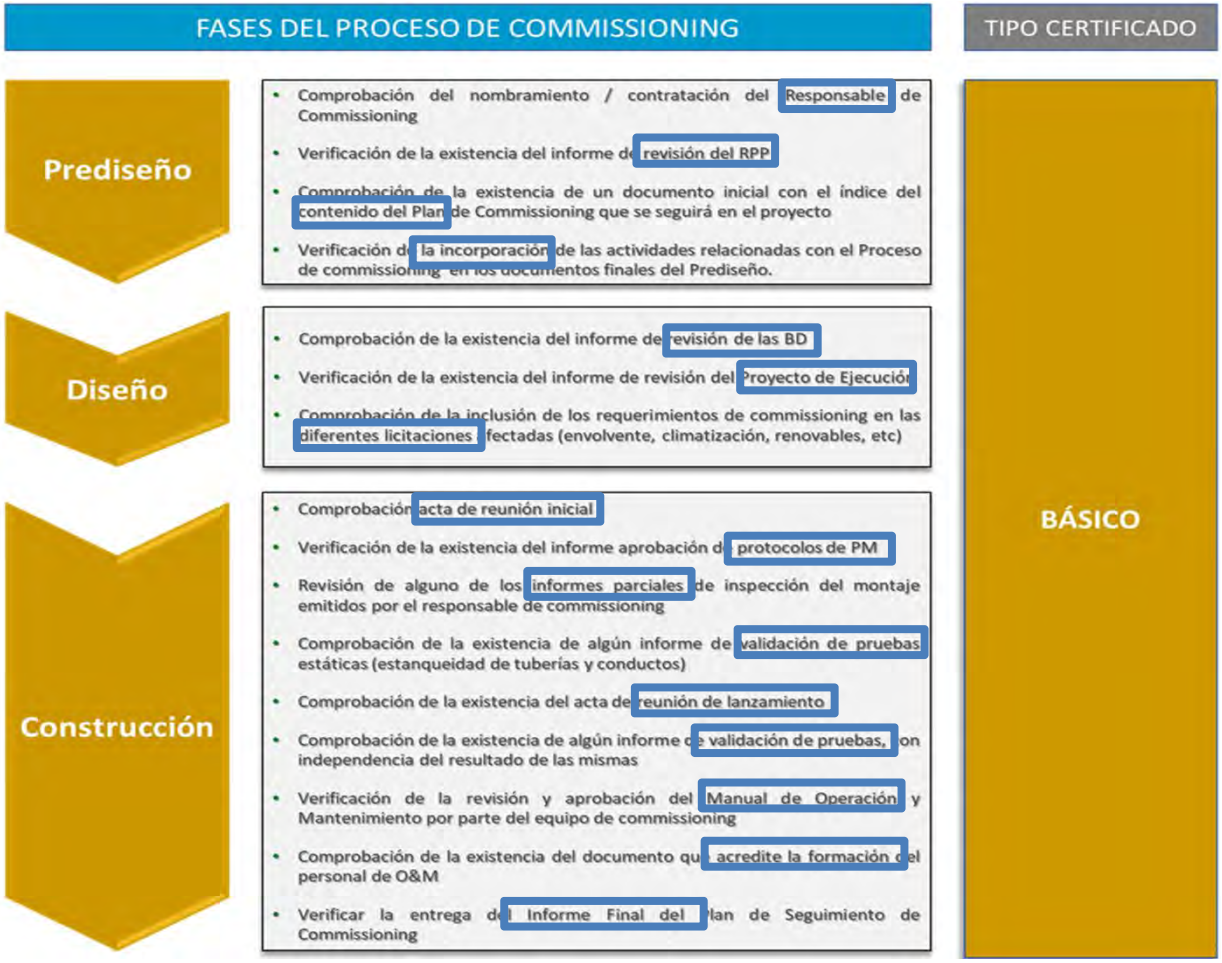
Los **Beneficios** que se consiguen: disponer de instalaciones **más eficientes, fiables y seguras**; mejorar el confort de los usuarios y su productividad; optimizar la explotación y mantenimiento del edificio; mejora de rendimientos de equipos principales; disponer de una documentación completa; extender la vida útil de los equipos y mejorar la capacitación del personal de mantenimiento.

En este escenario **cobran una vital importancia los sistemas de automatización (BAS) y el TAB (Testing, Adjusting and Balancing),** es decir el probar, ajustar y equilibrar los caudales de acuerdo con el diseño.

AENOR

iENER'19

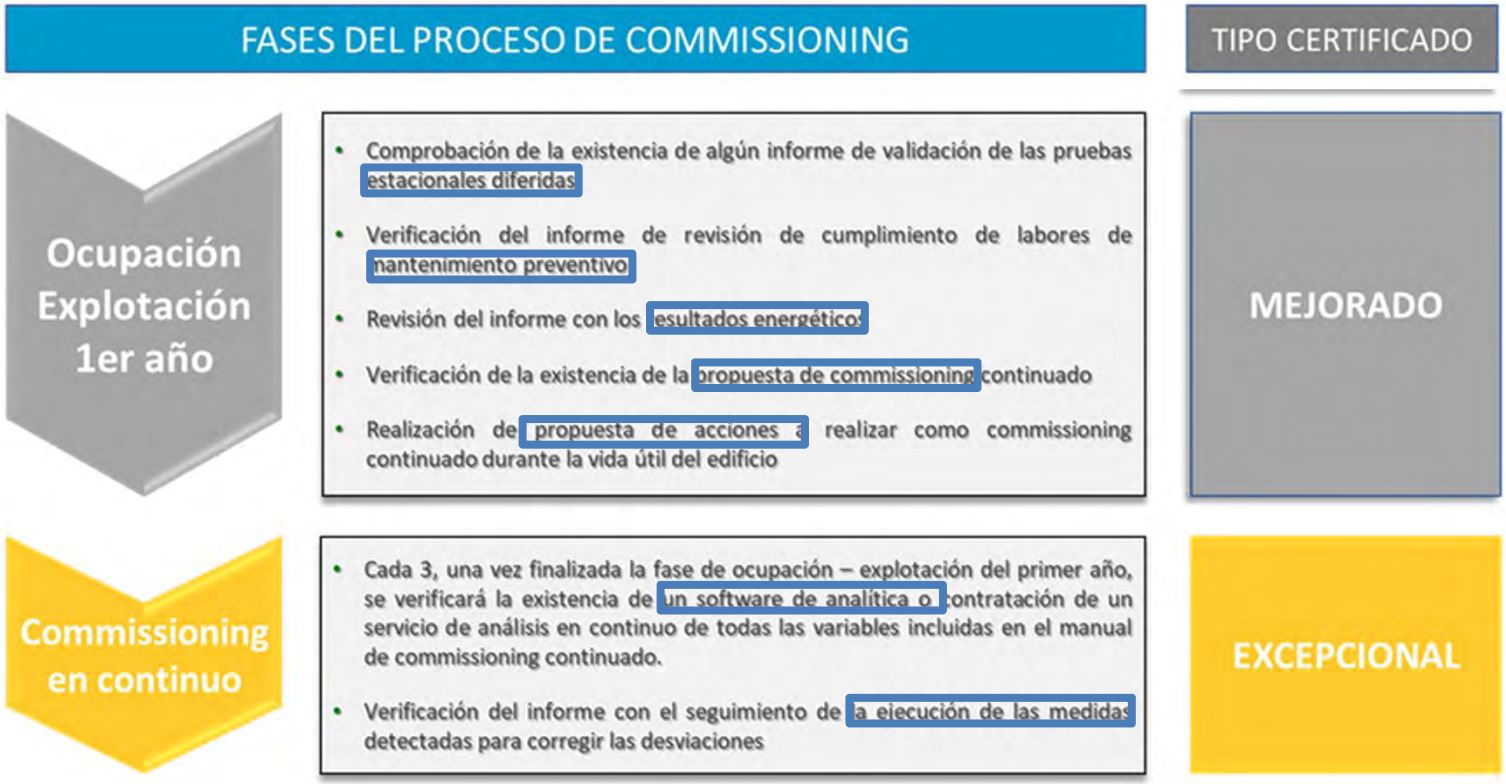
# 7. Aseguramiento de la Calidad en el Commissionig en NC



AENOR

iENER'19

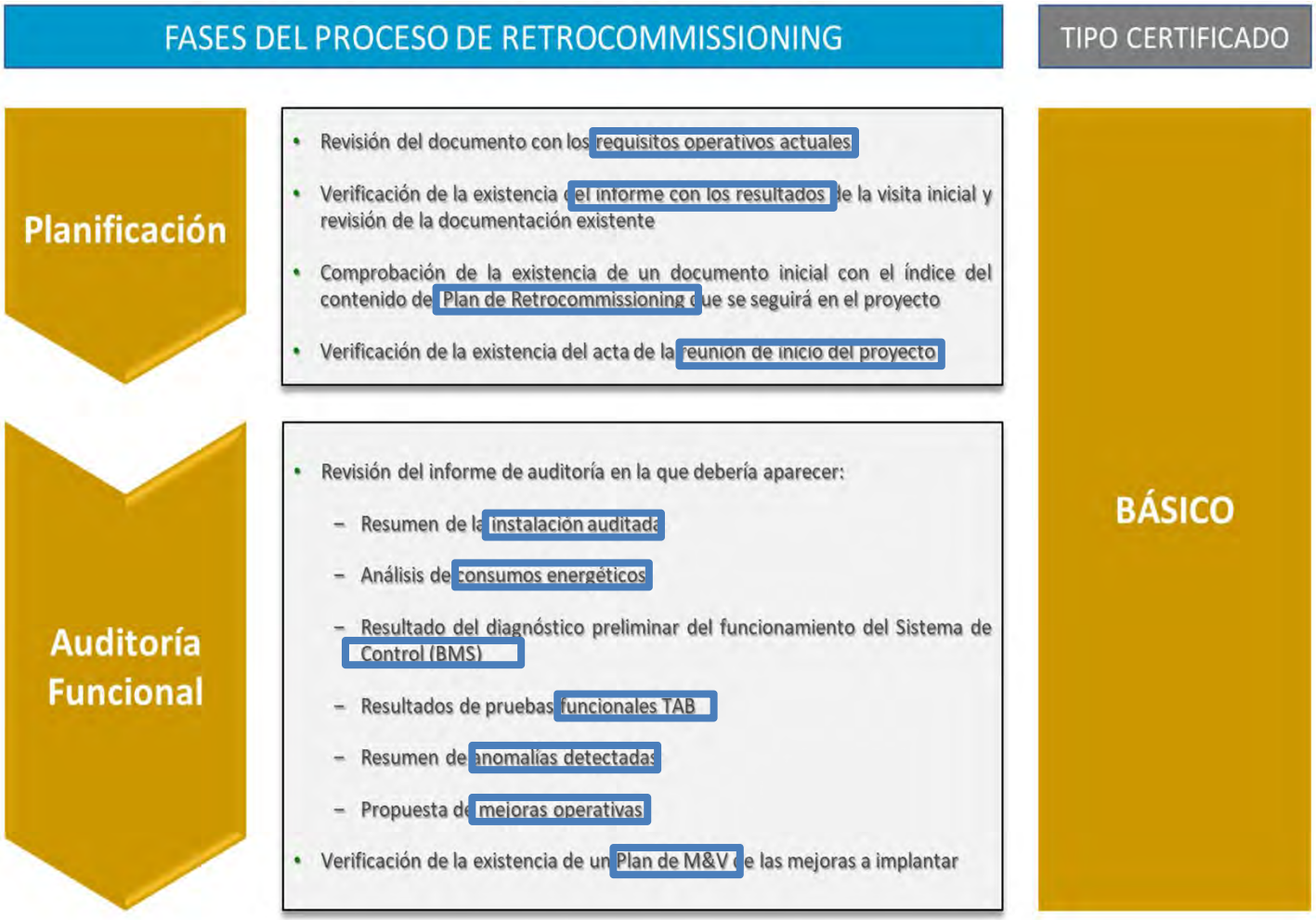
# 7. Aseguramiento de la Calidad en el Commissionig en NC



AENOR

iENER'19

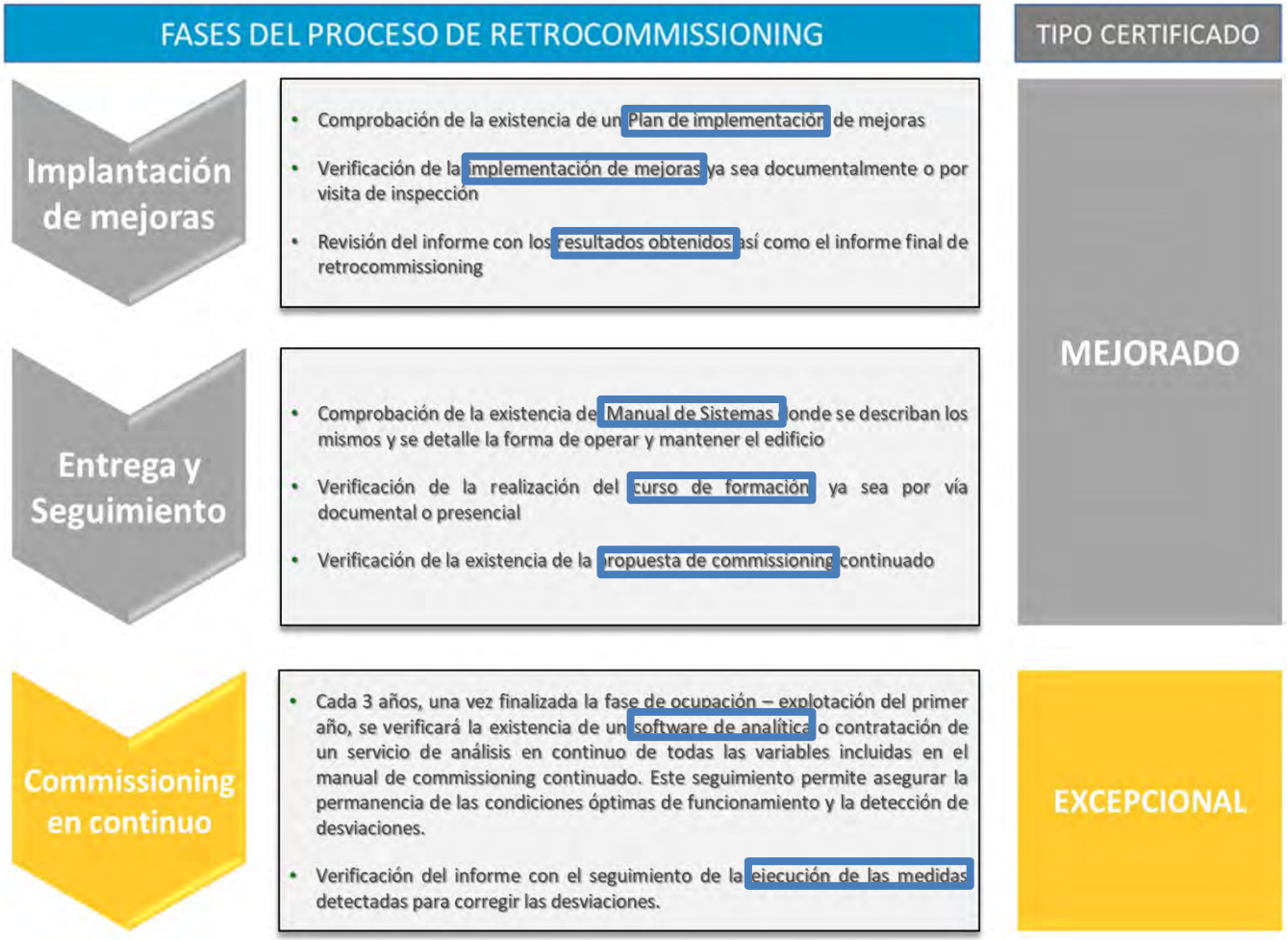
# 8. Aseguramiento de la Calidad en el Commissionig en EB



AENOR

iENER'19

# 8. Aseguramiento de la Calidad en el Commissionig en EB



AENOR

iENER'19

## 9. Conclusiones.

+ En la actualidad, un **gran número de los edificios existentes y en diseño**, **presentan un enorme potencial de mejora** funcional y de prestaciones.

+ **Nuevas construcciones no logran los estándares** de ahorros y calidad ambiental, aun estando dotadas de la más avanzada tecnología.

+ **Edificios existentes**, presentan **claras deficiencias** a nivel de funcionamiento habitual de instalaciones y de mantenimiento.

+ Las labores de **comisionado** realizadas de una **forma profesional y con un marchamo de calidad** pueden evitar dichas deficiencias, representando estas labores mucho **más que una mera puesta en marcha**.

AENOR

iENER'19

## 9. Conclusiones.

+ El **retrocomisionado**, en concreto se presenta como una **medida** muy interesante en si por su **bajo coste y alta rentabilidad**.

+ Toma un **papel fundamental** para conseguir un trabajo de **calidad** conocido como el método de **probar, ajustar y equilibrar** los caudales (TAB).

+ Estas actividades **generan** una **mejora** en el **confort** de los usuarios y su **productividad**, optimizando la **explotación y mantenimiento** del edificio y **reduciendo sus costes aumentando la vida útil** de los activos implicados.

+ El **aseguramiento de la calidad** de estas acciones debería ser realizada por una tercera parte competente e independiente para **asegurar el éxito del proyecto a las distintas partes participantes**.

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

AENOR

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# 'Establecimiento y control de criterios que aseguren la calidad en los procesos de Commissioning'

**Autor(es) de la comunicación: Juan Manuel García Sánchez (1)**

1 Gerente Sector Energía. Dirección Marketing Sectorial y de Producto AENOR. C/ Génova 6, 28004 Madrid, jmgarcia@aenor.com

**Resumen:** Commissioning es una metodología que permite **garantizar** que todos los sistemas que componen un edificio **funcionan interactivamente** según su **diseño original**. Las Operaciones de Commissioning en un Edificio tienen como objetivo principal **maximizar el rendimiento de los sistemas y equipos** que forman las instalaciones asegurando la consecución de los parámetros de diseño y permitiendo su utilización efectiva y eficiente a largo plazo.
En definitiva, el responsable de commissioning se encargará de revisar la "Comisionabilidad" del diseño, establecer la Estrategia de Puesta en Marcha, asegurarse de la obtención de resultados satisfactorios en las pruebas, documentar las mismas y comprobar la documentación aportada. La puesta en marcha de las instalaciones será llevada a cabo por los instaladores y supervisada/validada por el responsable de commissioning.

**Palabras clave:** "Garantizar", "Funcionan", "Interactivamente", "Maximizar", "Rendimiento".

## 1. INTRODUCCIÓN. PROPÓSITO Y DEFINICIÓN.

En la actualidad, un gran número de los edificios existentes y en diseño del parque instalado presente y proyectado a futuro, presentan un enorme potencial de mejora funcional y de prestaciones.

Atendiendo a la definición de Commissioning según Ashrae:

*"Servicio enfocado a la calidad para reforzar la entrega de un proyecto, centrado en verificar y documentar que la instalación y todos sus sistemas están planificados, instalados, comprobados, operados y mantenidos para reunir los requisitos fijados por el cliente en todo el ciclo de vida del edificio"*

Por lo tanto, las labores de comisionado realizadas de una forma profesional y con un marchamo de calidad pueden evitar dichas deficiencias, representando estas labores mucho más que una mera puesta en marcha.

Así mismo, el Commissioning es fundamental en el proceso de obtención de acreditaciones de Edificación Sostenible, tanto por ser un requisito como, sobre todo, por lo que en sí mismo supone de verificación, seguimiento y corrección de las calidades ambientales, gestión energética del edificio, etc.

Los trabajos anteriormente descritos son realizados por un/os Agente/s de Commissioning (AC) siguiendo un plan de Commissioning en el que está incluido el programa, la asignación de recursos y los requisitos de documentación del proceso de Commissionig.

## 2. QUÉ VENTAJAS APORTA

Disponer de instalaciones más eficientes, fiables y seguras; mejora el confort de los usuarios y su productividad; optimiza la explotación y mantenimiento del edificio, reduciendo sus costes; mejora los rendimientos de equipos principales mejorando su vida útil; disponer de una documentación completa; mejora la capacitación del personal de mantenimiento; es una parte básica para realizar una buena Gestión Energética (fundamental en los Sistemas de Gestión); complementa a la Auditoría Energética, centrándose en las oportunidades de tipo Operación y Mantenimiento (O&M), no en proyectos como el reemplazo de equipos o sustitución de combustibles

## 3. SITUACIÓN ACTUAL. NECESIDAD DEL COMMISSIONING.

En muchos emplazamientos nos encontramos: con unas instalaciones mal proyectadas y/o una puesta en marcha no realizada y/o un mantenimiento defectuoso de las instalaciones, equipos lejos de sus rendimientos óptimos y en muchos casos con la imposibilidad física de transmitir la totalidad de la potencia instalada.

Provocando, en esencia, una falta de confort y una ineficiencia de las instalaciones.

Figura 1: Problemas provocados por la ausencia o un incorrecto comisionado de instalaciones. (fuente URJC)

Ante esto, lo que busca un comisionado de calidad es: el mejorar el confort de los usuarios y su productividad; optimizar la explotación y mantenimiento del edificio, reduciendo sus costes; disponer de una documentación completa del edificio; extender la vida útil de los equipos y disponer de instalaciones más eficientes, fiables y seguras.

Figura 2: Ejemplo de deficiencias: fugas, accesos y estrangulamientos. (fuente. URJC/CELLCOMM)

Figura 3: Ejemplo de deficiencias: seguridades, equilibrados y BMS. (fuente. URJC/CELLCOMM)

## 4. TIPOS DE COMMISSIONING.

Según definiciones de Ashrae Directriz 0-2013 y la AEE en su curso CBCP:

COMMISSIONING (Cx): **Proceso de calidad** orientado a mejorar la entrega de un proyecto y obra. Se centra en verificar y documentar que el edificio y todos sus sistemas e instalaciones se han planificado, proyectado, instalado, probado y están explotadas y mantenidas para cumplir con los Requerimientos del Proyecto de la Propiedad (OPR).

RETRO-COMMISSIONING (EBCx): Proceso de Commissioning aplicado a un edificio existente (Existing Building) que no fue previamente sometido a proceso Cx. Se aplica la misma metodología que en el proceso de Commissioning Cx.

RE-COMMISSIONING (EBCx): Se aplica a un edificio existente que ha sido previamente sometido a un proceso de Commissioning. Puede ser parte de un Commissioning en Contínuo o puede ser motivado por un cambio de uso o por problemas de explotación.

CONTINUOUS COMMISSIONING (CCx) (Ongoing Commissioning OCx): Continuación del Proceso de Commissioning en la fase de ocupación- explotación para verificar que el proyecto sigue cumpliendo el OPR. Esto asegura el funcionamiento optimizado del edificio en todo su ciclo de vida.

MONITORING BASED COMMISSIONING (MBCx): Identificación de mejoras en el funcionamiento mediante el BAS, ya sea mediante conexión local o remota. Análisis automatizado de datos incluyendo informes y alarmas (Analytics – Automatic Fault Detection & Diagnostic).

Por lo tanto y a modo de resumen nos encontraríamos con las siguientes posibles casuísticas:

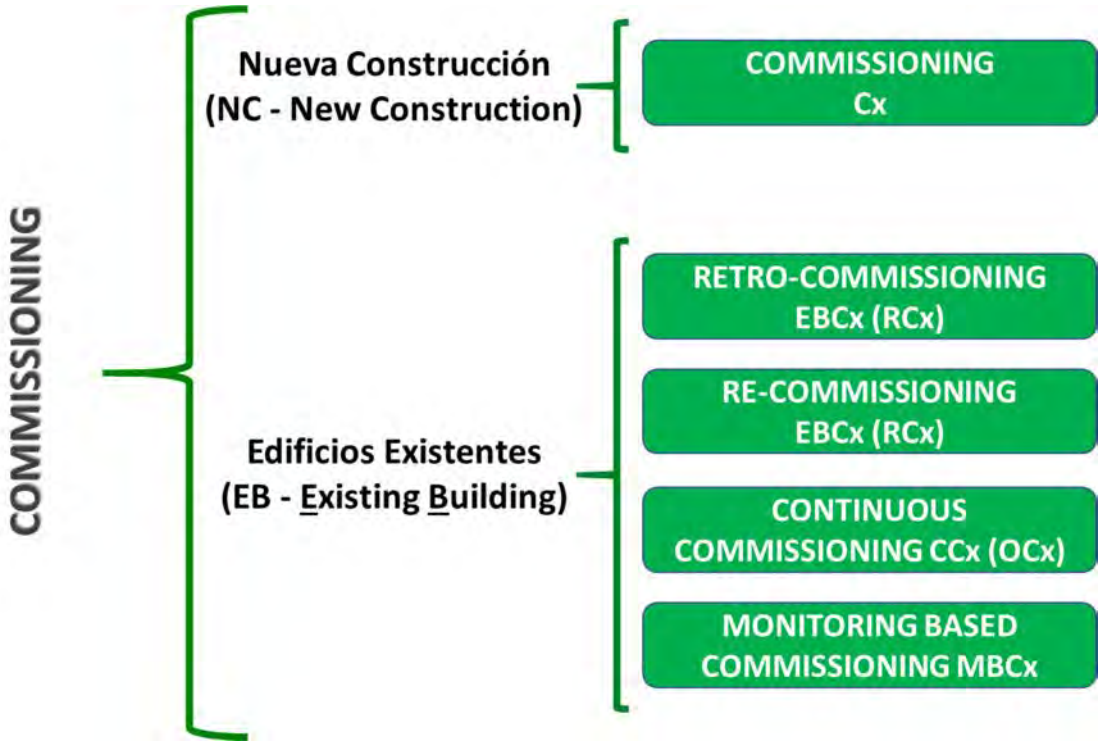



Figura 4: Tipos de Comisionado. Esquema. (fuente. URJC)

## 5. EN QUÉ CONSISTE Y QUE FASES TIENT EL COMMISSIONING EN NUEVA CONSTRUCCIÓN.

El comisionado radica en: documentar las necesidades de la Propiedad; documentar el razonamiento y las decisiones de los equipos de diseño; realizar revisiones de los proyectos durante la fase de diseño; definir, especificar, planificar y verificar la puesta en marcha y las pruebas funcionales de la construcción; mejorar la coordinación e integración de las operaciones de construcción; hacer que los sistemas trabajen eficientemente; mejorar la documentación de los sistemas; mejorar la capacitación del personal de mantenimiento. Constando de las siguientes fases:

- Prediseño,
- Diseño,
- Construcción,
- Ocupación, explotación,

La relación ahorros/costes de este proceso de forma general se puede cifrar en: un coste del 0,5 al 3% del coste total del sistema a comisionar / 1% del coste total de la construcción; ahorros de energía debidos al Cx que oscilan entre el 13 % y el 50% con menos de 4 años de retorno de la inversión. (fuente AEE – curso CBCP)

Los Beneficios más habituales obtenidos son: mejor coordinación entre consultores y contratistas; puesta en marcha y entrega más fluida; edificios más económicos de construir y operar; edificios más confortables conllevan mayor productividad; consumo de energía eficiente; reducción del impacto ambiental – menor huella ambiental y personal de O&M mejor formado para brindar un ambiente seguro, confortable y productivo.

## 6. EN QUÉ CONSISTE Y QUE FASES TIENE EL COMMISSIONING EN EDIFICIOS EXISTENTES.

El retrocomisionado es un proceso que consiste en investigar, analizar y optimizar el funcionamiento de las instalaciones de un edificio existente, buscando identificar e implementar actuaciones de bajo coste que aseguren el mantenimiento de rendimientos operativos y prolongue la vida útil del edificio. A su vez se constituye como una medida esencial para la mejora energética en edificios.

Consta de las siguientes fases:

- Planificación,
- Auditoría funcional,
- Implantación de mejoras,
- Entrega y seguimiento.

La relación ahorros/costes de este proceso de forma general se puede cifrar en: una reducción de costes de explotación: 5 – 15% pudiendo llegar al 25%. El período medio de amortización de un Retrocommissioning es de: 0,5 a 1,5 años. (fuente AEE – curso CBCP)

Los Beneficios que se consiguen: disponer de instalaciones más eficientes, fiables y seguras; mejorar el confort de los usuarios y su productividad; optimizar la explotación y mantenimiento del edificio; mejora de rendimientos de equipos principales; disponer de una documentación completa; extender la vida útil de los equipos y mejorar la capacitación del personal de mantenimiento.

En este escenario cobran una vital importancia los sistemas de automatización (BAS) y el TAB (Testing, Adjusting and Balancing), es decir el probar, ajustar y equilibrar los caudales de acuerdo con el diseño.

Los sistemas de automatización constituyen una herramienta fundamental para el retrocomisionado, constituyendo una abertura por la que comprobar el funcionamiento real de las instalaciones, esta rendija se encontrara tapada si el sistema no está operativo.

Estos sistemas nos van a permitir: investigar, diagnosticar y solventar la operativa del edificio; detectar Oportunidades de Mejora sobre el mismo.

En cuanto al TAB que es una función del contratista persigue que los propietarios e inquilinos de edificios tengan de forma continuada en el tiempo unas condiciones ambientales sean óptimas las cuales inciden directamente en la productividad y confort, y de forma no menos importante que el coste operativo sea el mínimo posible ya que esto repercutirá en unos mejores resultados de la compañía.

Esto sólo puede alcanzarse cuando se consigue un funcionamiento óptimo de los sistemas de climatización, dichos sistemas se diseñan para suministrar unos caudales (aire/agua ...) específicos a los componentes del sistema para cumplir con los requisitos de calefacción y refrigeración. Siendo la función del TAB probar, ajustar y equilibrar los caudales a parámetro de diseño.

Por lo tanto, el TAB es un proceso fundamental para garantizar el rendimiento de los sistemas y, por tanto, el Agente de Comisionado tiene que verificar el éxito de este. El agente debe reconocer y comprender los problemas descubiertos durante el proceso TAB y ser capaz de detectar problemas en los Informes aportados por el contratista responsable del TAB.

Por lo tanto, se erige como críticos los conocimientos y habilidades de TAB para el proceso de puesta en marcha HVAC.

## 7. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN EL COMMISSIONING EN NUEVA CONSTRUCCIÓN.

Las pautas mínimas necesarias que comprobar para asegurar la calidad de los trabajos deberían ser: documentar las necesidades de la propiedad; documentar el razonamiento y las decisiones de los equipos de diseño; realizar revisiones de los proyectos durante la fase de diseño; definir, especificar, planificar y verificar la puesta en marcha y las pruebas funcionales de la construcción; mejorar la coordinación e integración de las operaciones de construcción; hacer que los sistemas trabajen eficientemente; mejorar la documentación de los sistemas; mejorar la capacitación del personal de mantenimiento.

Y más en concreto en cada una de las fases las siguientes:

Acciones de Verificación en Fase de Prediseño

•Comprobación del nombramiento / contratación del responsable de Commissioning,

•Verificación de la existencia del informe de revisión de los Requerimientos del Proyecto de la Propiedad (RPP),

•Comprobación de la existencia de un documento inicial con el índice del contenido del Plan de Commissioning que se seguirá en el proyecto,

•Verificación de la incorporación de las actividades relacionadas con el Proceso de commissioning en los documentos finales del Prediseño.

Acciones de Verificación en Fase de Diseño

•Comprobación de la existencia del informe de revisión de las Bases de Diseño (BD),

•Verificación de la existencia del informe de revisión del Proyecto de Ejecución,

•Comprobación de la inclusión de los requerimientos de commissioning en las diferentes licitaciones afectadas (envolvente, climatización, renovables, etc).

Acciones de Verificación en Fase de Construcción

•Comprobación acta de reunión inicial,

•Verificación de la existencia del informe de revisión y aprobación de protocolos de puesta en servicio,

•Revisión de alguno de los informes parciales de inspección del montaje emitidos por el responsable de commissioning,

•Comprobación de la existencia de algún informe de validación de pruebas estáticas (estanqueidad de tuberías y conductos),

• Comprobación de la existencia del acta de reunión de lanzamiento,

•Comprobación de la existencia de algún informe de validación de pruebas,

•Verificación de la revisión y aprobación del Manual de Operación y Mantenimiento por parte del equipo de commissioning,

•Comprobación de la existencia del documento que acredite la formación del personal de O&M,

•Verificar la entrega del Informe Final del Plan de Seguimiento de Commissioning.

Acciones de Verificación en Fase de Ocupación/Explotación primer año

•Comprobación de la existencia de algún informe de validación de las pruebas estacionales diferidas,

•Verificación del informe de revisión de cumplimiento de labores de mantenimiento preventivo,

•Revisión del informe con los resultados energéticos,

•Verificación de la existencia de la propuesta de commissioning continuado,

• Realización de propuesta de acciones a realizar como commissioning continuado durante la vida útil del edificio.

Acciones de Verificación en Fase de Commissioning en continuo

• Cada 3 años, una vez finalizada la fase de ocupación –explotación del primer año, se verificará la existencia de un software de analítica o contratación de un servicio de análisis en continuo de todas las variables incluidas en el manual de commissioning continuado. Este seguimiento permite asegurar la permanencia de las condiciones óptimas de funcionamiento y la detección de desviaciones,

•Verificación del informe con el seguimiento de la ejecución de las medidas detectadas para corregir las desviaciones.

Figura 5: Flujo para aseguramiento de la calidad en el Commissioning en nueva construcción

## 8. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN EL COMMISSIONING EN EDIFICIOS EXISTENTES.

Las pautas mínimas necesarias que comprobar para asegurar la calidad de los trabajos deberían ser: los Sistemas del Edificio no están funcionando correctamente; sistemas envejecidos; problemas de mantenimiento; los Sistemas no están operando eficientemente; operadores con escasa formación; falta de conocimiento por parte de la gerencia sobre el valor de EBCx; las necesidades del edificio y los requerimientos de la propiedad han cambiado; sustituciones de equipos; cambios en la ocupación del edificio (implantaciones); problemas de calidad ambiental en interiores afectan a la productividad; exigible en certificaciones sostenibles como LEED o BREEAM (edificios existentes); consumos excesivos debido al incorrecto funcionamiento de las instalaciones

Y más en concreto en cada una de las fases las siguientes:

Acciones de Verificación en Fase de Planificación

• Revisión del documento con los requisitos operativos actuales,

•Verificación de la existencia del informe con los resultados de la visita inicial y revisión de la documentación existente,

•Comprobación de la existencia de un documento inicial con el índice del contenido del Plan de Retrocommissioning que se seguirá en el proyecto,

•Verificación de la existencia del acta de la reunión de inicio del proyecto.

Acciones de Verificación en Fase de Auditoría Funcional

•Revisión del informe de auditoría en la que debería aparecer:

-Resumen de la instalación auditada,

-Análisis de consumos energéticos,

-Resultado del diagnóstico preliminar del funcionamiento del Sistema de Control (BMS),

-Resultados de pruebas funcionales TAB,

-Resumen de anomalías detectadas,

-Propuesta de mejoras operativas.

•Verificación de la existencia de un Plan de M&V de las mejoras a implantar.

Acciones de Verificación en Fase de Implantación de Mejoras

•Comprobación de la existencia de un Plan de implementación de mejoras,

•Verificación de la implementación de mejoras ya sea documentalmente o por visita de inspección,

•Revisión del informe con los resultados obtenidos, así como el informe final de retrocommissioning.

Acciones de Verificación en Fase de Entrega y Seguimiento Acciones

•Comprobación de la existencia del Manual de Sistemas donde se describan los mismos y se detalle la forma de operar y mantener el edificio,

•Verificación de la realización del curso de formación, ya sea por vía documental o presencial,

•Verificación de la existencia de la propuesta de commissioning continuado.

Acciones de Verificación en Fase de Commissioning en continuo

• Cada 3 años, una vez finalizada la fase de ocupación –explotación del primer año, se verificará la existencia de un software de analítica o contratación de un servicio de análisis en continuo de todas las variables incluidas en el manual de commissioning continuado. Este seguimiento permite asegurar la permanencia de las condiciones óptimas de funcionamiento y la detección de desviaciones,

•Verificación del informe con el seguimiento de la ejecución de las medidas detectadas para corregir las desviaciones.

Figura 6: Flujo para aseguramiento de la calidad en el Commissioning en edificios exnueva construcción

## 9. CONCLUSIONES.

En la actualidad, un gran número de los edificios existentes y en diseño del parque instalado presente y proyectado a futuro, presentan un enorme potencial de mejora funcional y de prestaciones.

Bien tratándose de nuevas construcciones con un espíritu de diseño dirigido a la eficiencia y confortabilidad en las que no se logran los estándares de ahorros y calidad ambiental, aun estando dotadas de la más avanzada tecnología. O bien, en el caso de edificios existentes, constituyendo un claro indicativo de deficiencias a nivel de funcionamiento habitual de instalaciones y de mantenimiento.

Las labores de comisionado realizadas de una forma profesional y con un marchamo de calidad pueden evitar dichas deficiencias, representando estas labores mucho más que una mera puesta en marcha. El retrocomisionado, en concreto se presenta como una medida muy interesante en si por su bajo coste y alta rentabilidad. En ambos casos se debe destacar el papel fundamental para conseguir un trabajo de calidad conocido como el método de probar, ajustar y equilibrar los caudales (TAB). Del mismo modo estos procesos son demandados y reconocidos en las edificaciones sostenibles.

Por último, la realización rigurosa de las actividades descritas (Commissioning, Retrocommissioning, Recommissioning) nos va a permitir disponer de unas instalaciones más eficientes, fiables y seguras, significando esto una mejora en el confort de los usuarios y su productividad, optimizando la explotación y mantenimiento del edificio y reduciendo sus costes aumentando la vida útil de los activos implicados. El aseguramiento de la calidad de estas acciones debería ser realizada por una tercera parte competente e independiente para asegurar el éxito del proyecto a las distintas partes participantes.

## 10. REFERENCIAS

Ashrae - Directriz 0-2013

Ashrae - California Commissioning Guide: Existing Building

AEE - Curso CBCP

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

15:50 - 17:50

**SESIÓN 6 Track B. MyV y COMISSIONING**

Modera: Rafael Poquet. **EMIN.ENERGY**

"Establecimiento y control de criterios que aseguren la calidad en los procesos de Commissioning" **Juan Manuel García Sánchez.** Gerente de Energía. **AENOR**

"Aplicación del Commissioning en las Certificaciones Sostenibles Leed" **Josep Masach.** CEO. **PROISOTEC ENGINYERIA**

"Mejora de la eficiencia de las plantas mediante sistema de monitorización TecOS-SOLCEP" **Francisco Javier González** Responsable Operaciones. **TECNATOM**

"Caso práctico de aplicación del retrocommissioning en un aulario de la Universidad Rey Juan Carlos" **Javier Orellana Sanz.** Gestor Energético Unefe **UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS (URJC)**

"IPMVP para calcular los ahorros, pero ¿puede haber 10% de diferencia en ahorro en Coste Evitado vs Ahorro Normalizado?" **María Cubillo Sagüés.** CEO. **SinCeO2 CONSULTORÍA ENERGÉTICA**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# APLICACIÓN DEL COMMISSIONING EN LAS CERTIFICACIONES SOSTENIBLES LEED

JOSEP MASACHS

CEM® CMVP® CBCP Certified Building Commissioning Professional LEED AP BD+C

Proisotec energia

aee The Association of Energy Engineers Spain Chapter

# Índice


1 Certificación de edificios sostenibles LEED

2 Building Commissioning

3 Relación LEED-Commissioning

4 El Commissioning en los Créditos LEED

# Certificación de edificios sostenibles LEED

## LEED – Leadership in Energy & Enviromental Design

Es un sistema de evaluación y certificación medioambiental basado en criterios para desarrollar edificios sostenibles de alta eficiencia.

# Certificación de edificios sostenibles LEED

| Y | ? | N | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Credit | Integrative Process | 1 |

| 0 | 0 | 0 | Location and Transportation | | 16 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Credit | LEED for Neighborhood Development Location | 16 |
| | | | Credit | Sensitive Land Protection | 1 |
| | | | Credit | High Priority Site | 2 |
| | | | Credit | Surrounding Density and Diverse Uses | 5 |
| | | | Credit | Access to Quality Transit | 5 |
| | | | Credit | Bicycle Facilities | 1 |
| | | | Credit | Reduced Parking Footprint | 1 |
| | | | Credit | Green Vehicles | 1 |

| 0 | 0 | 0 | Sustainable Sites | | 10 |
|---|---|---|---|---|---|
| Y | | | Prereq | Construction Activity Pollution Prevention | Required |
| | | | Credit | Site Assessment | 1 |
| | | | Credit | Site Development - Protect or Restore Habitat | 2 |
| | | | Credit | Open Space | 1 |
| | | | Credit | Rainwater Management | 3 |
| | | | Credit | Heat Island Reduction | 2 |
| | | | Credit | Light Pollution Reduction | 1 |

| 0 | 0 | 0 | Water Efficiency | | 11 |
|---|---|---|---|---|---|
| Y | | | Prereq | Outdoor Water Use Reduction | Required |
| Y | | | Prereq | Indoor Water Use Reduction | Required |
| Y | | | Prereq | Building-Level Water Metering | Required |
| | | | Credit | Outdoor Water Use Reduction | 2 |
| | | | Credit | Indoor Water Use Reduction | 6 |
| | | | Credit | Cooling Tower Water Use | 2 |
| | | | Credit | Water Metering | 1 |

| 0 | 0 | 0 | Energy and Atmosphere | | 33 |
|---|---|---|---|---|---|
| Y | | | Prereq | Fundamental Commissioning and Verification | Required |
| Y | | | Prereq | Minimum Energy Performance | Required |
| Y | | | Prereq | Building-Level Energy Metering | Required |
| Y | | | Prereq | Fundamental Refrigerant Management | Required |
| | | | Credit | Enhanced Commissioning | 6 |
| | | | Credit | Optimize Energy Performance | 18 |
| | | | Credit | Advanced Energy Metering | 1 |
| | | | Credit | Demand Response | 2 |
| | | | Credit | Renewable Energy Production | 3 |
| | | | Credit | Enhanced Refrigerant Management | 1 |
| | | | Credit | Green Power and Carbon Offsets | 2 |

| 0 | 0 | 0 | Materials and Resources | | 13 |
|---|---|---|---|---|---|
| Y | | | Prereq | Storage and Collection of Recyclables | Required |
| Y | | | Prereq | Construction and Demolition Waste Management Planning | Required |
| | | | Credit | Building Life-Cycle Impact Reduction | 5 |
| | | | Credit | Building Product Disclosure and Optimization - Environmental Product Declarations | 2 |
| | | | Credit | Building Product Disclosure and Optimization - Sourcing of Raw Materials | 2 |
| | | | Credit | Building Product Disclosure and Optimization - Material Ingredients | 2 |
| | | | Credit | Construction and Demolition Waste Management | 2 |

| 0 | 0 | 0 | Indoor Environmental Quality | | 16 |
|---|---|---|---|---|---|
| Y | | | Prereq | Minimum Indoor Air Quality Performance | Required |
| Y | | | Prereq | Environmental Tobacco Smoke Control | Required |
| | | | Credit | Enhanced Indoor Air Quality Strategies | 2 |
| | | | Credit | Low-Emitting Materials | 3 |
| | | | Credit | Construction Indoor Air Quality Management Plan | 1 |
| | | | Credit | Indoor Air Quality Assessment | 2 |
| | | | Credit | Thermal Comfort | 1 |
| | | | Credit | Interior Lighting | 2 |
| | | | Credit | Daylight | 3 |
| | | | Credit | Quality Views | 1 |
| | | | Credit | Acoustic Performance | 1 |

| 0 | 0 | 0 | Innovation | | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Credit | Innovation | 5 |
| | | | Credit | LEED Accredited Professional | 1 |

| 0 | 0 | 0 | Regional Priority | | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Credit | Regional Priority: Specific Credit | 1 |
| | | | Credit | Regional Priority: Specific Credit | 1 |
| | | | Credit | Regional Priority: Specific Credit | 1 |
| | | | Credit | Regional Priority: Specific Credit | 1 |

| 0 | 0 | 0 | TOTALS | Possible Points: | 110 |
|---|---|---|---|---|---|

Certified:

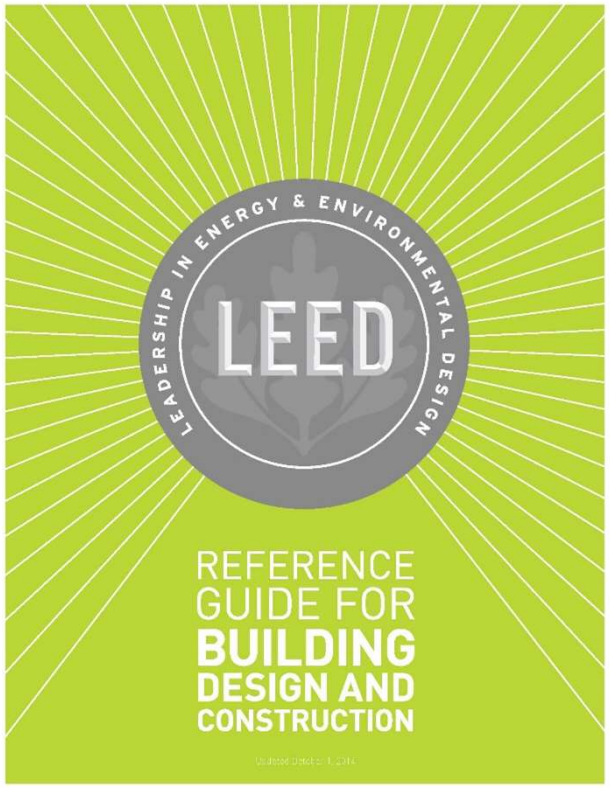
CERTIFICATION 40 - 49 POINTS | SILVER 50 - 59 POINTS | GOLD 60 - 79 POINTS | PLATINUM 80 - 110 POINTS

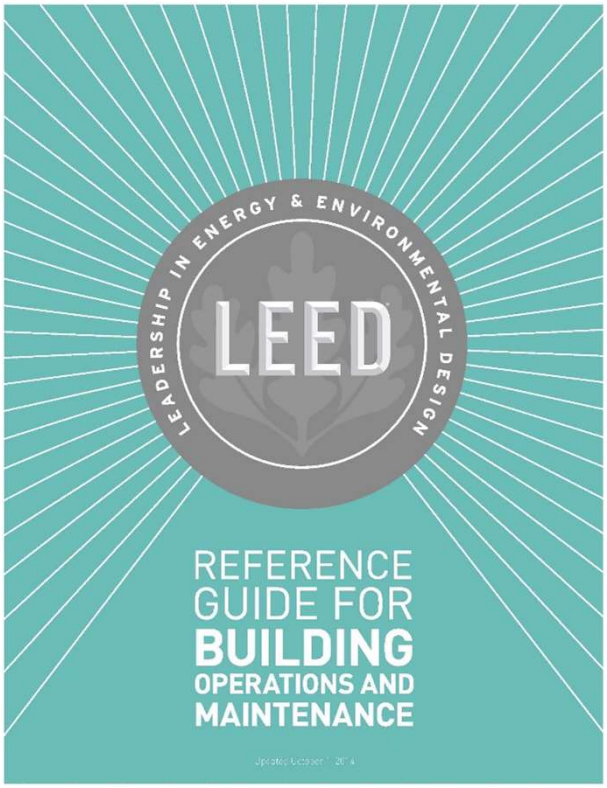
# Building Commissioning – ¿Que es?

Definición de Commissioning según ASHARAE Guideline 0-2013

Es un proceso de calidad enfocado en verificar y documentar que las instalaciones y sistemas son pensadas, diseñadas, instaladas, probadas utilizadas y mantenidas según los requerimientos del propietario en el Proyecto.

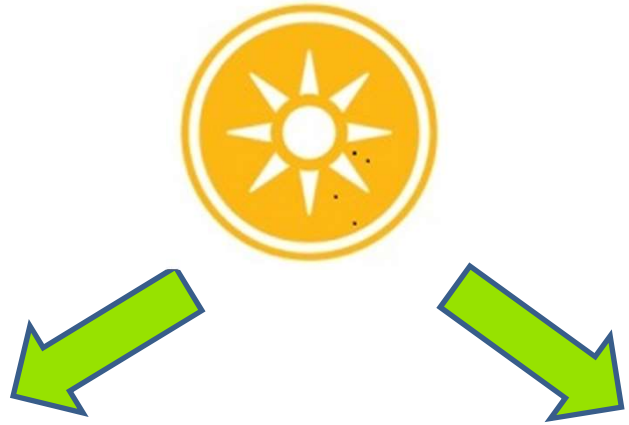
# RELACIÓN LEED - COMMISSIONING



# RELACIÓN LEED – COMMISSIONING- DESIGN AND CONSTRUCTION

ENERGY & ATMOSPHERE



PREREQUISITO

FUNDAMENTAL COMMISSIONING & VERIFICATION

CREDITO

ENHANCED COMMISSIONING

## Fundamental commissioning and verification - Prerequisito

### Objetivo del prerequisito

Dar soporte al diseño, construcción, puesta en marcha, mantenimiento y usuario del edifico para conseguir los requerimientos del propietario.

ENERGÍA Y ATMÓSFERA (EYA)

EFICIENCIA EN AGUA (EA)

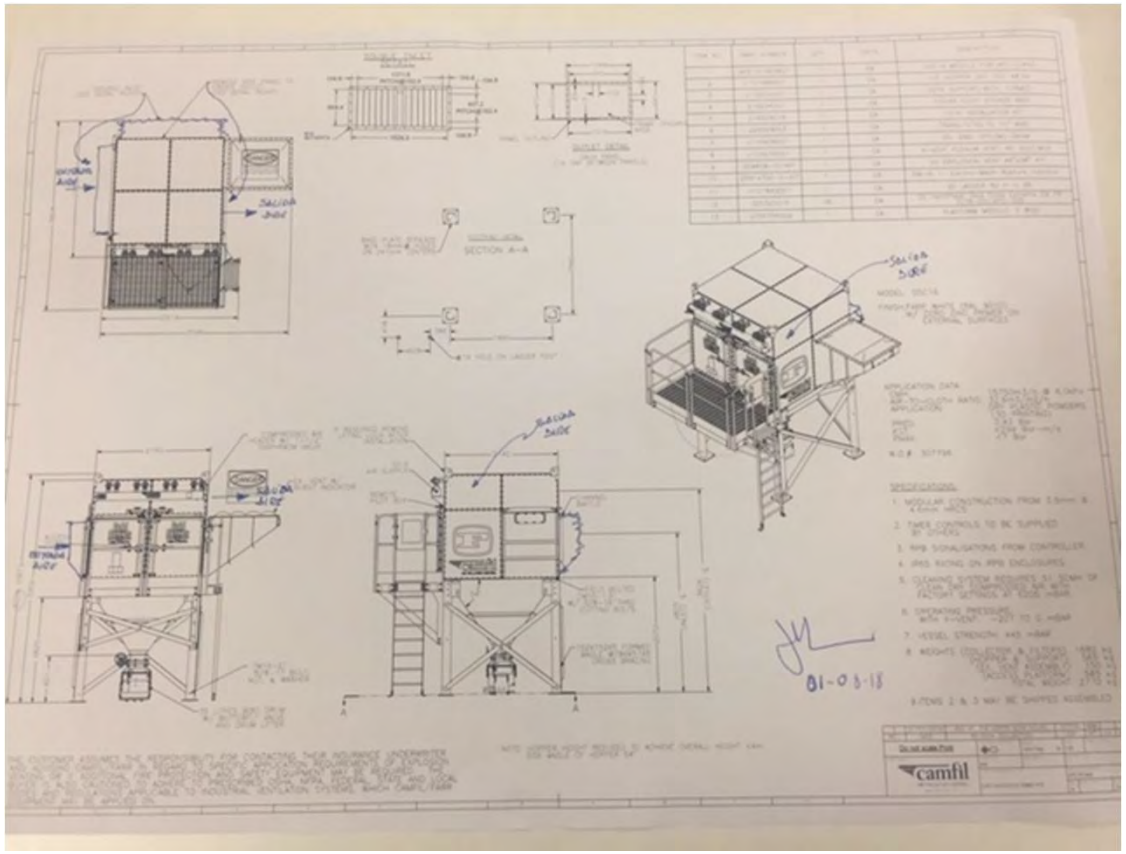
CALIDAD AMBIENTAL INTERIOR (CAI)

# Fundamental commissioning and verification - Prerequisite

## El porque de la importancia del COMMISSIOING para LEED

- El commissioning verifica que se consiguen los objetivos y requerimientos del propietario en todos las etapas de un edificio.
- Reduce los cambios de ordenes, deficiencias y acciones correctivas.
- Mejora la coordinación y la planificación.
- Reduce el consumo durante la utilización del edificio.
- Facilita el mantenimiento y reduce sus costes.
- Mejora las condiciones de confort y calidad de aire interior

# Fundamental commissioning and verification - Prerequisite



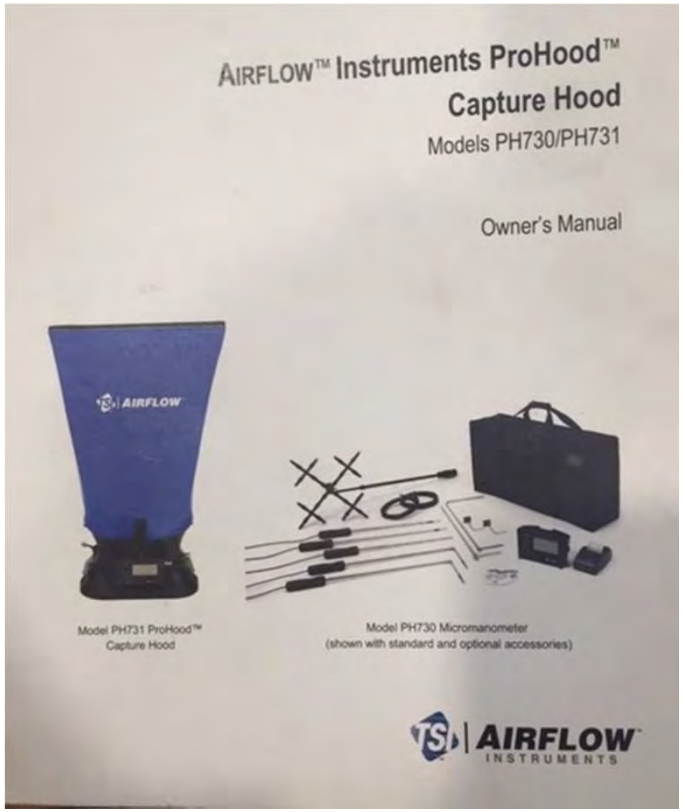
# Fundamental commissioning and verification - Prerequisite

## Tareas del CxA COMMISSIONING Agent

Certified Building Commissioning Professional

- Revisar la requerimientos del propietario, las bases de diseño y el diseño del proyecto.
- Desarrollar e implementar el Cx plan.
- Verificar que los requerimientos del Commissioning están incorporados dentro de las especificaciones proyecto
- Desarrollar los checklist de construcción.
- Desarrollar las pruebas de puesta en marcha.

# Fundamental commissioning and verification - Prerequisite



# Fundamental commissioning and verification - Prerequisite

## Tareas del CxA COMMISSIONING Agent

- Verificar las pruebas de la puesta en marcha.
- Gestión y seguimiento del listado “issues and benefits.”
- Realizar el informe final del Commissioning process.
- Informar directamente al propietario del informe con la recomendaciones finales.
- Plan de mantenimiento y requerimientos de funcionamiento

# Fundamental commissioning and verification - Prerequisite

| #0053 | INCIDENCIA / ISSUE | | |
|---|---|---|---|
| Relevancia<br>*Relevance* | ALTA<br>*HIGH* | Fecha apertura<br>*Opening date* | 27/11/2018 |
| Responsable<br>*Leader* | SOGESA | Fecha limite<br>*Deadline* | |
| | | Fecha de cierre<br>*Closing date* | 20/02/2019 |
| Descripción<br>*Description* | La soportación de las tuberías principales de climatización en el exterior, de salida de bombas TRANE, es insuficiente para soportar su peso.<br>*The support of the main air conditioning pipes on the outside, of TRANE pumps, is insufficient to support its weight.* | | |
| Consecuencias<br>*Effects* | Posibles deformaciones de los soportes, movimiento de las tuberías y posibilidad de roturas.<br>*Possible deformations of the supports, movement of the pipes and the possibility of breakage.* | | |
| Posible causa<br>*Possible cause* | Previsión insuficiente de la soportación.<br>*Insufficient provision of support.* | | |
| Recomendaciones<br>*Recommendations* | Reforzar o sustituir la estructura existente.<br>*Reinforce or replace the existing structure.* | | |
| Acciones<br>*Actions* | Se realiza una nueva estructura de soporte<br>*A new support structure is made* | | |

# Fundamental commissioning and verification - Prerequisite

| #0051 | INCIDENCIA / ISSUE | | |
|---|---|---|---|
| Relevancia<br>*Relevance* | MEDIA<br>*MIDDLE* | Fecha apertura<br>*Opening date* | 27/11/2018 |
| Responsable<br>*Leader* | SOGESA | Fecha limite<br>*Deadline* | |
| | | Fecha de cierre<br>*Closing date* | 20/02/2019 |
| Descripción<br>*Description* | En la zona de más altura de la nave se genera estratificación del aire cuando se impulsa aire caliente; se detectan oscilaciones de temperaturas de hasta 4ºC entre la parte alta (pasarelas) y la parte baja (a 50 cm del suelo).<br>*In the highest area of the ship, stratification of the air is generated when hot air is driven; temperature oscillations of up to 4º C are detected between the upper part (walkways) and the lower part (50 cm from the ground).* | | |
| Consecuencias<br>*Effects* | Condiciones de confort inadecuadas<br>*Inadequate comfort conditions* | | |
| Posible causa<br>*Possible cause* | Poca velocidad de impulsión de aire dada la elevada altura del recinto.<br>*Low air drive speed given the high height of the enclosure.* | | |
| Recomendaciones<br>*Recommendations* | Ajustar el climatizador de esta zona para que impulse a más velocidad y provocar el descenso del aire hasta la zona ocupable.<br>*Adjust the air conditioner of this zone so that it drives at a higher speed and causes the descent of the air to the occupied area.* | | |
| Acciones<br>*Actions* | Se han ajustado las velocidades de los climatizadores para disminuir las oscilaciones térmicas.<br>*The speeds of the air conditioners have been adjusted to reduce the thermal oscillations.* | | |

## Plan de mantenimiento y requerimientos de funcionamiento

- Secuencia de las operaciones del edificio.
- Horario de funcionamiento del edificio y las instalaciones.
- Consignas del aire condicionado, caudales ventilación.
- Niveles de iluminación para cada zona
- Cambios en las consignas, horarios…según días de la semana, estaciones climatológicas…

# Enhanced commissioning - Credite

## Tareas del CxA COMMISSIONING Agent

Certified Building Commissioning Professional

- Revisar la información entregada por los industriales.
- Verificar la documentación as built i certificados.
- Verificar la formación a realizar a usuarios y mantenimiento.
- Verificar la puesta en marcha de las diferentes estaciones.
- Revisar el funcionamiento de las instalaciones después de 10 meses.
- Desarrollar el plan Ongoing - Commissioning.

# Enhanced commissioning - Credite

- Desarrollar monitorage de los puntos a medir y evaluar

¿Que medir?  ¿Donde medir?  ¿Frecuencia?

¿Limites aceptables de valor?

¿Plan de acción para identificar errores o deficiencias?

¿Definir algoritmos de comparación?

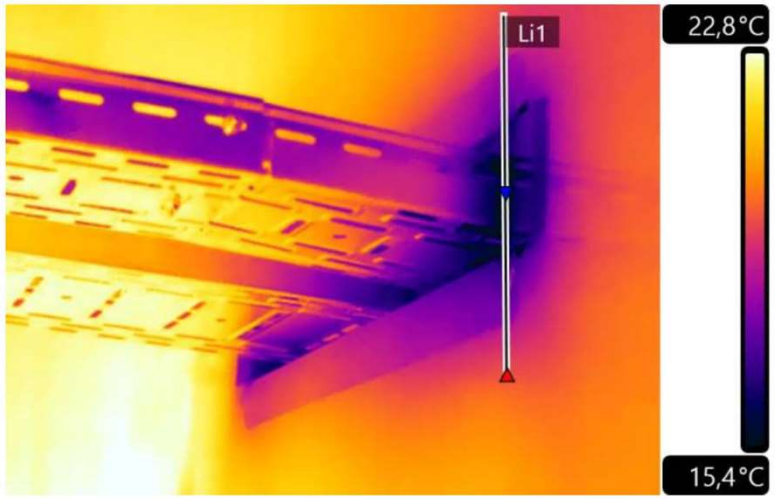
¿Formación para prevenir errores?

¿Frecuencia de análisis en el primer año de ocupación.?

# Envolope commissioning - Credite

- Verificar si la envolvente del edificio cumple los requerimientos térmicos.

Verificar en obra los aislamientos y eliminación de los puentes térmicos

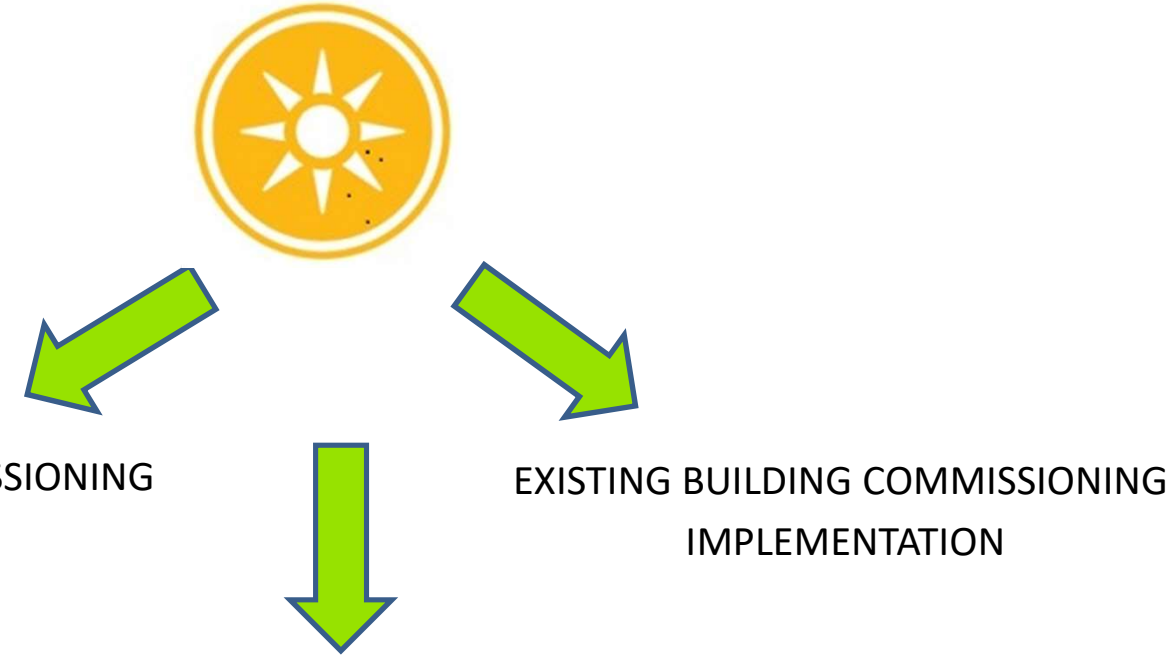



Realizar termografía del envolvente

Realizar pruebas de infiltraciones – Blowing Door

# RELACIÓN LEED – COMMISSIONING- OPERATIONS & MAINTENANCE

ENERGY & ATMOSPHERE



EXISTING BUILDING COMMISSIONING ANALYSIS

EXISTING BUILDING COMMISSIONING IMPLEMENTATION

ON GOING COMMISSIONING

# Existing Building commissioning Analisis - Credit

Actualizar los requerimientos de funcionamiento instalaciones

Identificar y analizar oportunidades de mejora.

Analizar si los sistemas están operando según requerimientos usuario.

# Existing Building Commissioning Analisis - Credit

Auditoria Nivel 2
según Ashrae

Identificar y analizar
oportunidades de mejora
en eficiencia energética.

# Existing Building Commissioning Implementation - Credit

Implementar mejoras en un plan de 5 años

Desarrollar un programa de medida y verificación

Formación personal mantenimiento

Actualizar el plan de mantenimiento incorporando la mejoras

# Ongoing Commissioning - Credit

Aplicar a iluminación, climatización, ACS, energías renovables, procesos

- Definir requerimientos de medida
- Puntos a medir, frecuencia, acceso a datos
- Valores límites aceptables de las medidas
- Revisar proceso para evaluar el funcionamiento instalaciones
- Plan para identificar y corregir errores - deficiencias
- La frecuencia de análisis del primer año
- Definir posterior ciclo de análisis (cada 24 meses)

# Ongoing Commissioning - Credit

Aplicar a iluminación, climatización, ACS, energías renovables, procesos

- Actualizar as built y la documentación técnica
- Informes anuales del funcionamiento instalaciones
- Actualizar el plan de mantenimiento
- Actualizar los requerimientos de funcionamiento
- Informes anuales del funcionamiento instalaciones

# Proyectos Commissionig en Certificaciones LEED

Mapfre Cub 2-3.
Sant Cugat del Valles

Plataforma Logística.
Guadalajara

HP labs impresoras 3D.
Sant Cugat del Valles

1er Edificio “Warehouse”
del Mundo Certificado en
LEEDv4

# RESUMEN RELACION LEED-COMMISSIONING

Es un sistema de evaluación y certificación medioambiental basado en criterios para desarrollar edificios sostenibles de alta eficiencia.

El commissioning verifica que se consiguen los objetivos y requerimientos del propietario en todas las etapas de un edificio.

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Proisotec energia

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

15:50 - 17:50

**SESIÓN 6 Track B. MyV y COMISSIONING**

Modera: Rafael Poquet. **EMIN.ENERGY**

"Establecimiento y control de criterios que aseguren la calidad en los procesos de Commissioning" **Juan Manuel García Sánchez.** Gerente de Energía. **AENOR**

"Aplicación del Commissioning en las Certificaciones Sostenibles Leed" **Josep Masach.** CEO. **PROISOTEC ENGINYERIA**

"Mejora de la eficiencia de las plantas mediante sistema de monitorización TecOS-SOLCEP" **Francisco Javier González** Responsable Operaciones. **TECNATOM**

"Caso práctico de aplicación del retrocommissioning en un aulario de la Universidad Rey Juan Carlos" **Javier Orellana Sanz.** Gestor Energético Unefe **UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS (URJC)**

"IPMVP para calcular los ahorros, pero ¿puede haber 10% de diferencia en ahorro en Coste Evitado vs Ahorro Normalizado?" **María Cubillo Sagüés.** CEO. **SinCeO2 CONSULTORÍA ENERGÉTICA**

# MEJORA DE LA EFICIENCIA DE LAS PLANTAS MEDIANTE EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN TecOS-SOLCEP

F. Javier González

tecnatom

The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

tecnatom

www.tecnatom.es

**Proyectos en más de 40 países**

**Grupo Empresarial con presencia internacional**

**Independencia Tecnológica en suministro de equipos y servicios**

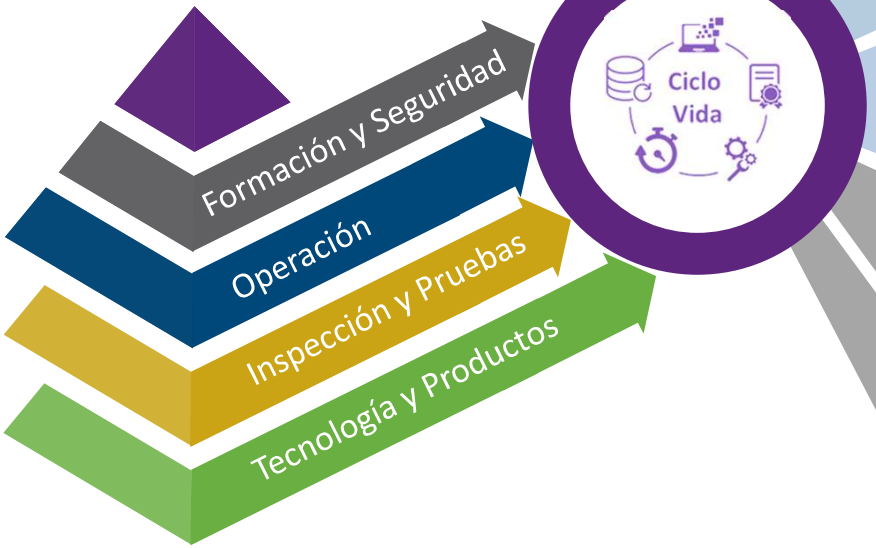
**Certificados por clientes y organismos en más de 30 países**

**Centrales Eléctricas:**
- Nuclear
- Fósil
- Renovable

**Sectores Industriales:**
- Aeroespacial
- Fabricación
- Oil & Gas
- Petroquímico
- Transporte

# Mercados

Industrias tecnológicamente complejas con altos estándares de calidad y seguridad



**Generación de Electricidad**

**Industrial**

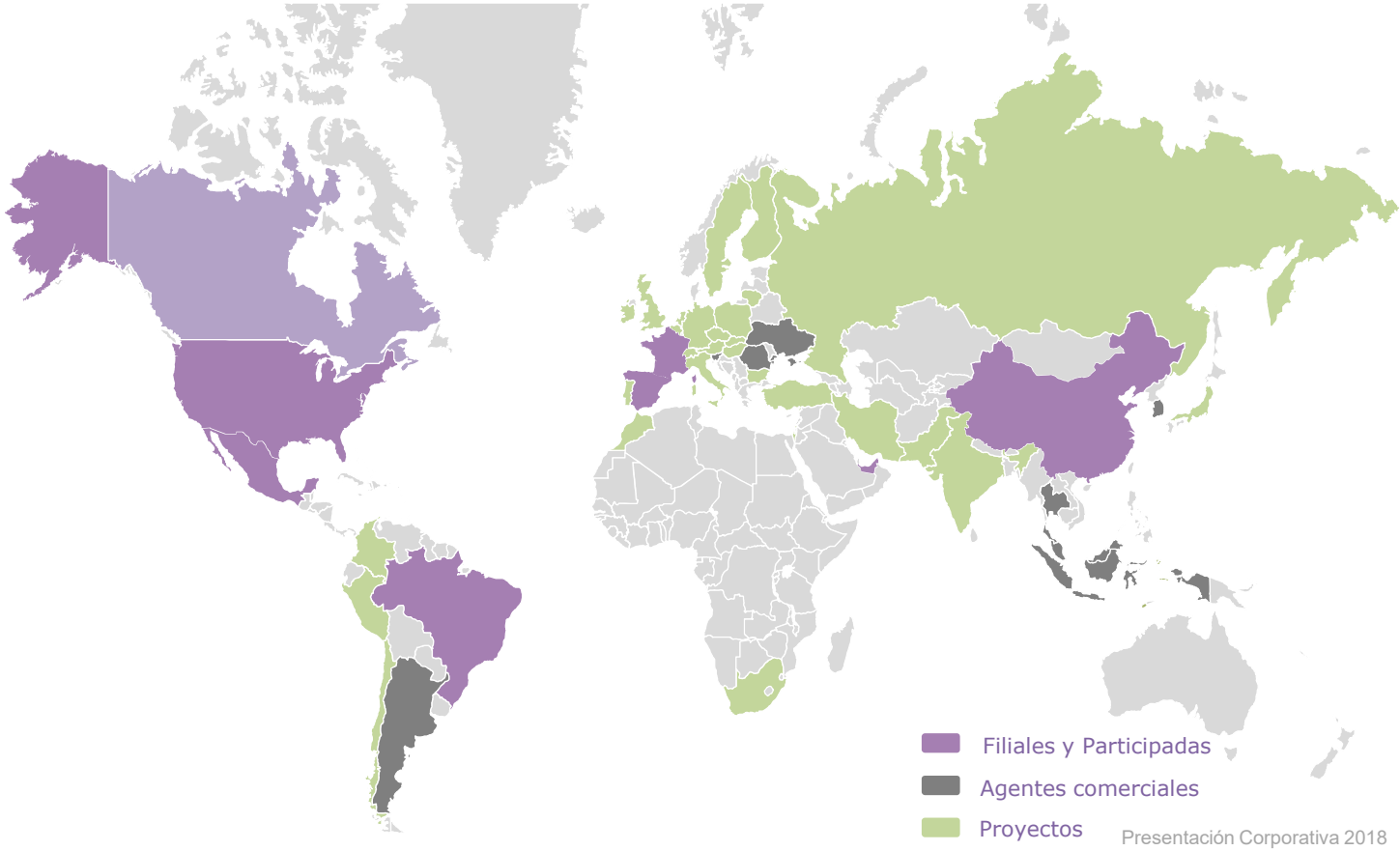


Presentación Corporativa 2018
Reservados todos los derechos

# Presencia Internacional

group tecnatom

tecnatom
tecnatom Mexico
tecnatom Abu Dhabi
tecnatom Metalscan
tecnatom brasil
CITEC
tecnatom china
IBERCAL S.L.U. Inspectores y Consultores
sertec
tecnatom USA
FarField
SNGC

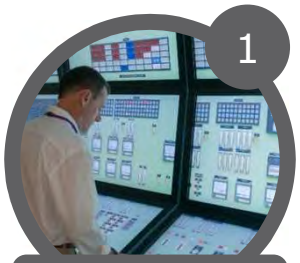





Presentación Corporativa 2018
Reservados todos los derechos

# Propuesta de Valor

Desarrollar e implantar soluciones integradas e innovadoras que promuevan la seguridad, eficiencia y fiabilidad de sus activos, procesos y de la actuación de las personas




Formación y Seguridad

Operación Digital y Gestión de Activos

Inspección y Pruebas

Tecnología y Producto


Reservados todos los derechos

# Índice


1 EL ASUNTO: MEJORA DE LA EFICIENCIA

2 MONITORIZACIÓN DE RENDIMIENTOS

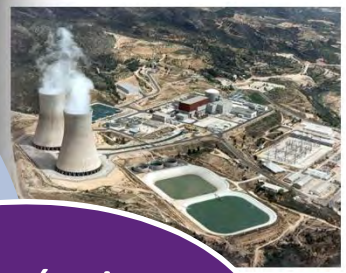
3 CASOS DE BENEFICIO Y MEJORA PARA LAS PLANTAS

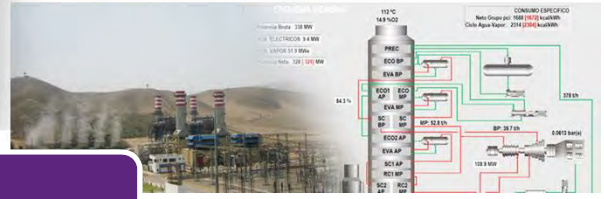
4 DIGITALIZACIÓN

# El Asunto: Mejora de la Eficiencia

# TecOS-SOLCEP: Monitorización de Rendimientos

ASME PTC PM 2010.
Performance Monitoring
Guidelines for Power Plants





Diagnóstico Asistido (+ Equipo Ingenieros)

# Filosofía: Mantenimiento basado en el Beneficio (BbM)

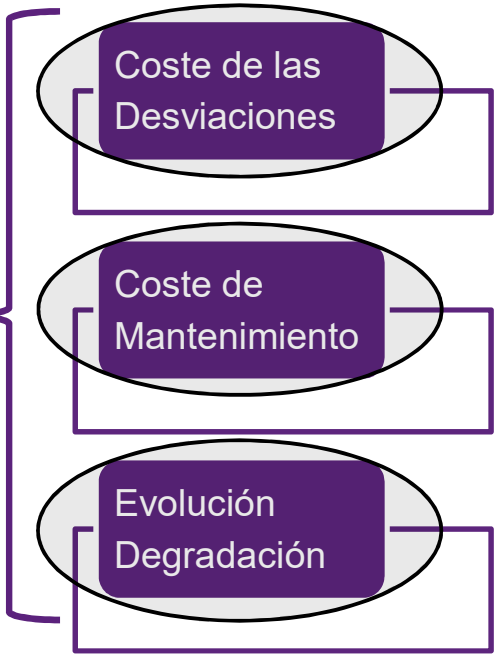
Complementarias

**Estrategias Mantenimiento Habituales**

- Basadas en Tiempo, en la Condición o Predictivas
- Orientadas a los objetivos de Seguridad y Fiabilidad

**Estrategia de Mantenimiento Basado en el Beneficio (BbM)**

- Orientada a obtener el máximo beneficio económico mediante el cuidado de la Eficiencia
- Toma de decisiones de Mantenimiento



# Propósitos de la Monitorización de Rendimientos

**Situación Actual**

- Instrumentación de Proceso
- Termodinámica. Balances de Masa y Energía
- Estimación de variables no instrumentadas

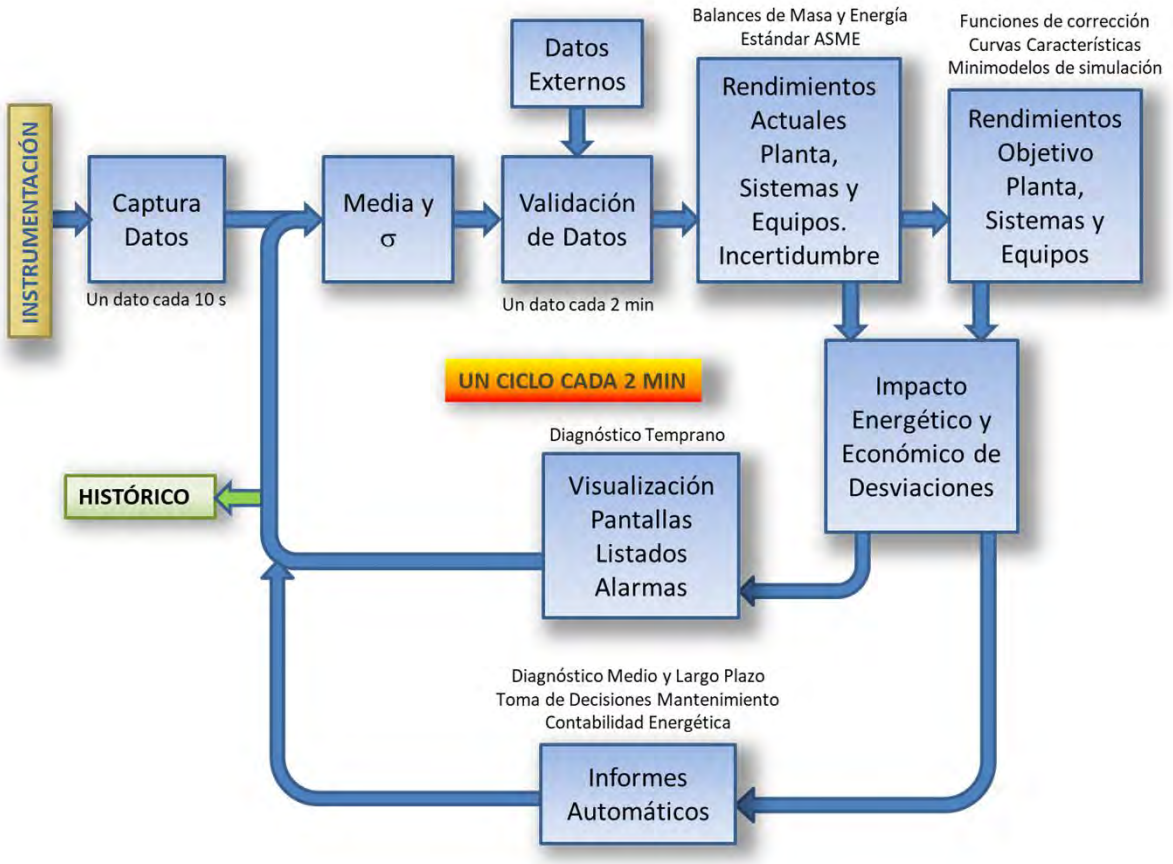
**Situación Objetivo**

- Balances de Diseño, Pruebas de Aceptación, Datos de diseño y curvas características de equipos, Regresiones estadísticas de los mejores datos históricos, Modelos de Simulación
- Degradación no recuperable
- Revisión tras cada gran mantenimiento

**Contribución Desviaciones**

- Planta, Sistema, Parámetro, Componente
- Consumo Específico y Potencia Máxima
- Energética y Económica

# Herramientas de Monitorización: Características




**Precisión**

- Modelos adaptados a cada planta
- Códigos ASME

**Flexibilidad**

- Estructura Modular
- Arquitectura
- Interfaz HFE, Informes

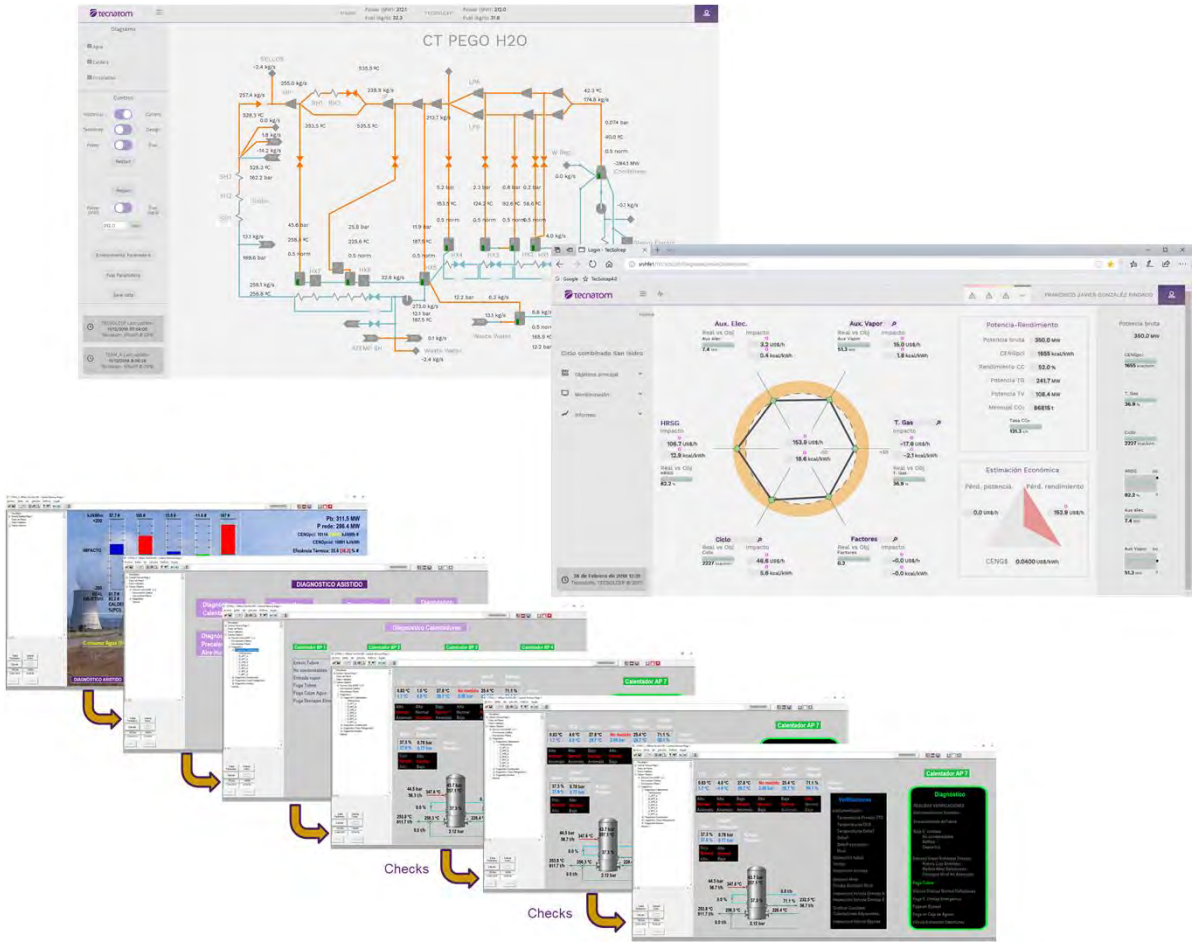
**Transparencia**

- Modelos Accesibles (Auditorías)

## Herramientas de Monitorización: Cobertura

- Todas las situaciones operativas: en carga, en parada, arranques y acoplamientos
- El estado de los instrumentos y la influencia de su precisión sobre los resultados mediante cálculo de incertidumbres
- Degradaciones o Desviaciones de Rendimiento de los equipos principales
  - Turbina de vapor y el sistema de sellado
  - Turbina de gas: filtros, compresor y turbina de expansión
  - Condensador y Equipo de vacío
  - Torre de Refrigeración
  - Bombas, turbobombas y ventiladores
  - Intercambiadores de calor
- Alto consumo de auxiliares eléctricos
- Fugas de agua y vapor indeseadas
- Recirculaciones de agua indeseadas ...

# Herramientas de Monitorización: Características Adicionales




**Simulador Estacionarios**

- Optimización de la Operación
- Predicción

**Diagnóstico Asistido**

- Captura la Experiencia
- Búsqueda de la Causa Raíz

**Interfaz HFE**

- Transmisión de la Información

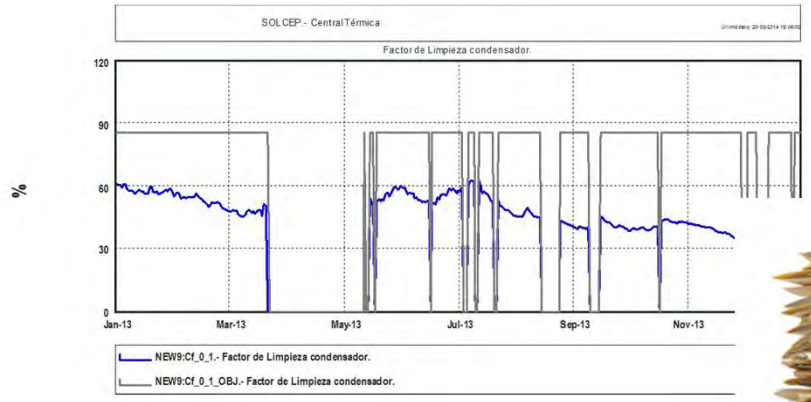
# Mejora de la Planta. Beneficios Económicos.

| Precio Electricidad US$/kWh | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.15 | | | | | | | | | | | | Estimación anual | | | |
| | | | | | | | | | Precio Electricidad 0.15 US$/kWh | Precio Combustible US$/GJ) | Energía neta anual total GWh | Impacto Monetario US$ | Impacto Combustible GJ | Impacto CENG kcal/kWh | Impacto Monetario Adicional US$ |
| **Central** | **Principales Impactos y beneficios desaprovechados (US$)** | | | | | | | | | | | | | | |
| **Ciclo combinado 1x1** | Cambio Rellenos Torres 88 600 | Mantenimiento TV Sellos 102 148 | Caldera Recuperación Alta temperatura salida 246 770 | Calentamiento insuficiente Gas Natural 1 560 | Condensador, Incertidumbre caudales vapor -18 334 | Turbina Gas 353 510 | Otros 23 420 | Ciclo optimo Lavado compresor 2 000 000 | Potencia Máxima 2 906 647 | 5.045 | 1 458 | 797 673 | 159 639 | 25 | 4 906 647 |
| **Ciclo combinado 1x1** | Cambio Rellenos Torres 165 689 | Mantenimiento TV Sellos -49 343 | Caldera Recuperación Degradación precalentador 440 474 | Calentamiento insuficiente Gas Natural 25 314 | Condensador, Incertidumbre caudales vapor -38 458 | Turbina Gas Mejor que tras mantenimiento -222 247 | Otros 42 903 | Ciclo optimo Lavado compresor 500 000 | Potencia Máxima 120 849 | 5.075 | 2 669 | 364 332 | 73 269 | 7 | 620 849 |
| **Ciclo combinado 2x1** | Turbinas Gas Mantenimiento-Lavado (Poco Fiable IBH) 1 024 269 | Caldera Recuperación (Poco Fiable IBH) -411 191 | Bypass de Gases 1+1x1 554 122 | Auxiliares Eléctricos En Carga 203 399 | Ciclo TV Condensador 116 951 | Combustible Arranques Prolongados 71 197 | Otros 16 886 | Optimización BCIR-Lazos 60 000 | Auxiliares Electricos Parada 500 000 | 10.832 | 359 | 1 575 633 | 142 251 | 95 | 560 000 |
| **Ciclo combinado 2x1** | 1 010 778 | -206 664 | 938 792 | 18 685 | 408 518 | 71 430 | 26 830 | 80 000 | 500 000 | 10.571 | 480 | 2 268 369 | 206 146 | 101 | 580 000 |
| **Ciclo combinado 2x1** | Relleno Torres 144 732 | Condensador 78 177 | Ciclo TV: Sellos, Purgas, Bypass vapor 8 909 | Bypass de Gases 1+1x1 38 465 | Turbinas Gas Mantenimiento-Lavado 152 923 | Combustible Arranques Prolongados 11 519 | Otros -12 591 | Torres, Beneficio cambio Relleno 800 000 | Potencia máxima 116 363 | 1.832 | 1 601 | 422 134 | 232 093 | 35 | 916 363 |
| **Central de 2 TGs ciclo abierto** | Lavado Compresor 57 549 | Mantenimiento TGs 100 966 | Filtros Aire Entrada Compresor 3 882 | Combustible Arranques Prolongados 3 394 | | | Otros 4 362 | | Potencia máxima 77 653 | 4.907 | 252 | 170 152 | 38 456 | 33 | 77 653 |
| **Central de 2 TGs ciclo abierto** | Lavado Compresor 106 582 | Mantenimiento TGs 378 531 | Filtros Aire Entrada Compresor 5 689 | Combustible Arranques Prolongados 10 346 | | | Otros 236 | | Potencia máxima 117 372 | 10.897 | 75 | 501 384 | 45 992 | 146 | 117 372 |
| **Central de carbón** | Vacio Condensador 603 592 | Temperatura AA 40 660 | Caldera (Inquemados) 37 880 | Auxiliares Eléctricos En Carga -159 807 | | Arranques prolongados 335 132 | Otros 23 691 | | | 3.608 | 348 | 881 148 | 160 197 | 110 | 0 |
| **Central de carbón** | P.Condensador 121 411 | Ciclo TV: temperaturas vapor, agua aporte, presión vapor, … 283 371 | Caldera: Temperatura/caudal gases, Inquemados 319 124 | Vapor Sellos TV 130887 | Auxiliares Eléctricos En Carga, Poco Fiable hasta m.t. -52 911 | Arranques prolongados 264 820 | Otros 2 114 | | | 3.492 | 672 | 1 068 816 | 263 487 | 94 | 0 |
| **Central de carbón** | Calentadores T.Agua Alimentación 525 429 | T.Vapor Ppal. y Recal. 696 501 | Resto Ciclo TV: Condensador… 214 538 | Vapor Exceso sellos 287 880 | Bypass vapor arranques +Soplado +Vapor Auxiliar +Purgas -26 661 | Auxiliares Eléctricos En Carga 102 890 | Arranques prolongados 123 959 | Rendimiento Caldera -21 481 | Otros -109 | 3.255 | 1 996 | 1 902 946 | 537 543 | 64 | |
| **TOTAL** | | | | | | | | | | | 9910 847 | 9 952 587 | 1 859 073 | 45 | 7 778 884 |

## Beneficios Potenciales en una flota:

- **Estrategia de Operación: 9.830.799 USD**
- **Mantenimiento o Sustitución: 7.900.672 USD**
- **Arranques: 878.057 USD**

# Mejora de la Planta. Toma de decisiones.

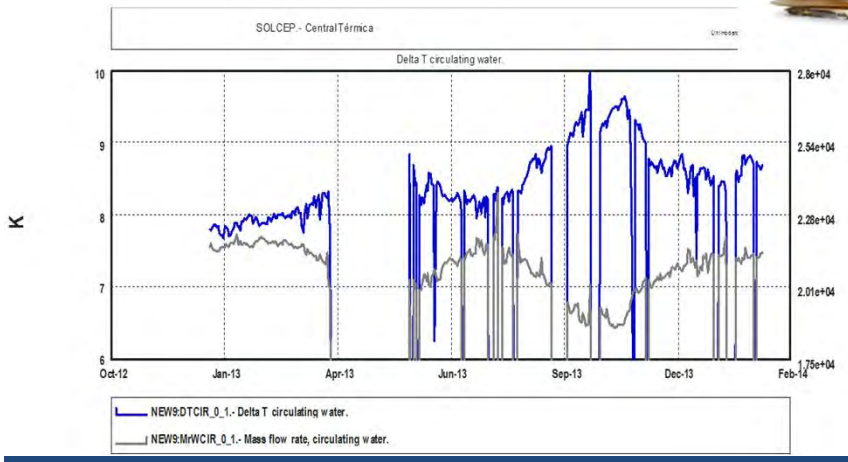


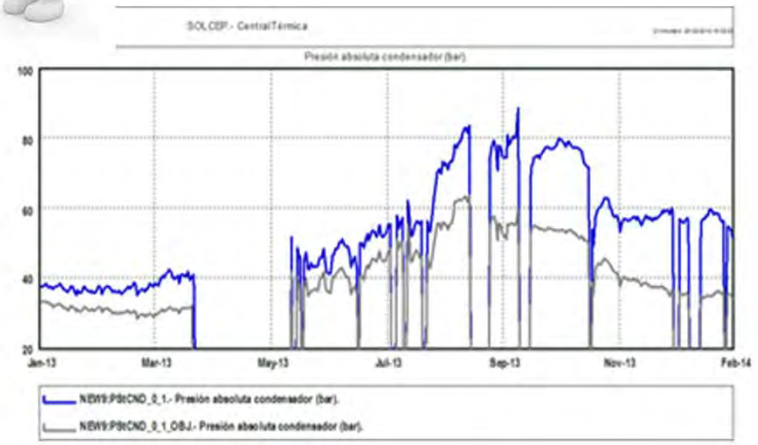
Estrategia de Limpieza

- Condensador
- Compresor TG

Estrategia de Operación

- Número celdas torre refrigeración
- Número bombas circulación

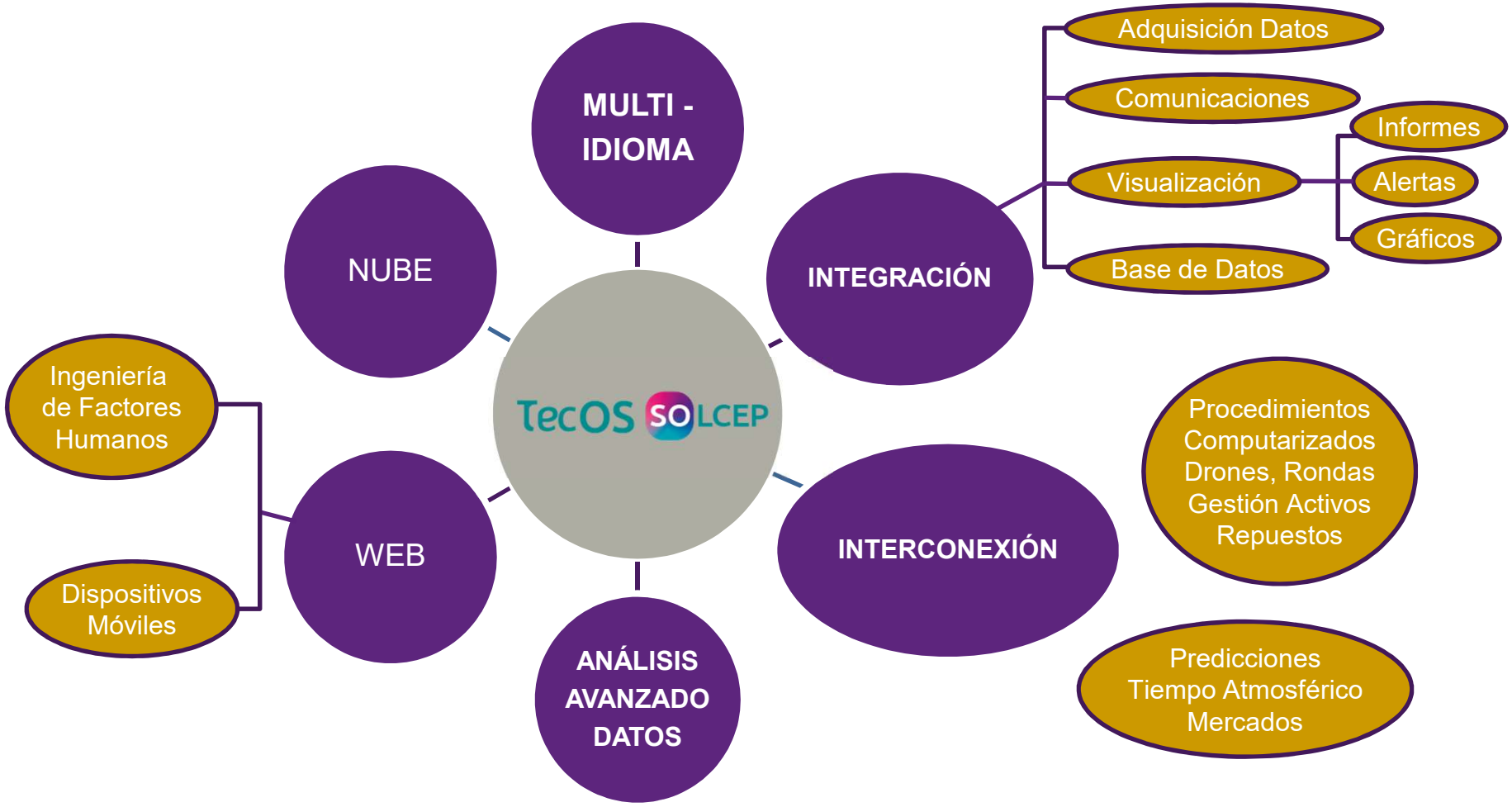


# Ejemplo de Diagnóstico y Cuantificación

| Principales pérdidas Mensuales | kcal/kWhn | € |
|---|---|---|
| Desviación de rendimiento | | |
| 1. Ciclo Agua Vapor | | |
| - Pérdidas por caudal vapor a TBAA | 15.8 | 44721 |
| 2. Pérdidas Auxiliares de Vapor | | |
| - Pérdidas vapor a sellos | 4.6 | 13106 |
| - Pérdidas vapor a Calentadores Aire Vapor | 2.4 | 6689 |
| 3. 2 MW de potencia en exceso en ventiladores, debido a fugas y ensuciamiento en los precalentadores aire/humos | 13. | 46800 |

# Integración en el Mundo Digital



# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

# MEJORA DE LA EFICIENCIA DE LAS PLANTAS MEDIANTE EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN TecOS-SOLCEP.

**Autor(es) de la comunicación: F. Javier González[1], Mariano Martín[2], Adrián González[3], María García[4]**

1 Tecnatom. Sistemas de Monitorización de la Eficiencia. Avda. Montes de Oca 1, 28703 San Sebastián de los Reyes, jgp@tecnatom.es
2 Tecnatom. Sistemas de Monitorización de la Eficiencia. Avda. Montes de Oca 1, 28703 San Sebastián de los Reyes, mmg@tecnatom.es
3 Tecnatom. Sistemas de Monitorización de la Eficiencia. Avda. Montes de Oca 1, 28703 San Sebastián de los Reyes, agr@tecnatom.es
4 Tecnatom. Sistemas de Monitorización de la Eficiencia. Avda. Montes de Oca 1, 28703 San Sebastián de los Reyes, mgs@tecnatom.es

**Resumen:** TecOS-SOLCEP es una herramienta "software" para monitorizar, diagnosticar y cuantificar las desviaciones de rendimiento y de potencia máxima en las centrales eléctricas de cualquier tecnología. Su capacidad de adaptación y su extensión de detalles hacen que un modelo SOLCEP sea un "Digital Twin" del estado de rendimiento de una planta. Los algoritmos empleados para calcular el impacto de una determinada desviación son una mezcla de modelos paramétricos obtenidos con datos reales y modelos de simulación para los subsistemas más complejos como condensadores y torres de refrigeración. El concepto implícito en SOLCEP es el de "Mantenimiento basado en beneficios" (BbM), como complemento de las estrategias de mantenimiento habituales: por tiempo, por condición y predictivas. La filosofía BbM permite, con el cálculo de los impactos económicos, tanto la toma de decisiones de mantenimiento como la de estrategias óptimas de operación. Diecinueve años de historias exitosas en más de 50 unidades, se han traducido en beneficios económicos reales que avalan su aplicación. La última versión del "software" es una aplicación web moderna y versátil, integrada en los nuevos entornos digitales, que ha utilizado la Ingeniería de Factores Humanos para el diseño de su interfaz y de la forma de transmitir información.

**Palabras clave:** Eficiencia, Mantenimiento, Monitorización, Digital Twin, Diagnóstico.

## 1. MANTENIMIENTO BASADO EN BENEFICIOS (BbM)

Tecos-SOLCEP nace en el año 2000 como resultado de un esfuerzo colaborativo entre Endesa y PMSA, una pequeña empresa española liderada por Pablo Moreno, un Hombre e Ingeniero con mayúsculas: Ingeniero Nuclear y MS por el MIT, Doctor por la UPM, miembro del Comité Termohidráulico de la Sociedad Nuclear Americana, de la Academia de Ciencias de Nueva York y de la Sociedad de Investigación Científica Sigma-XI; unos meses antes de su fallecimiento, en 2014, los mejores ingenieros y activos de PMSA fueron acogidos por Tecnatom donde han encontrado un hogar y un lugar para continuar desarrollando sus habilidades, integrándolas con las capacidades mundialmente reconocidas de Tecnatom en los campos nuclear y energético.

SOLCEP es una herramienta de software para monitorizar, diagnosticar y cuantificar las desviaciones de rendimiento en las centrales eléctricas. Por otra parte, su adaptación a cada unidad generadora y su alcance detallado hace de un modelo SOLCEP un gemelo digital del estado de rendimiento de una planta de producción de energía. La metodología, definición de los indicadores y nomenclatura sigue los estándares ASME. Aunque inicialmente fue creado para ser aplicado en las plantas de carbón, su alcance se ha extendido a los ciclos combinados, termosolares y plantas nucleares; y el foco en el consumo específico cubre ahora la potencia máxima. SOLCEP se utiliza actualmente en 54 plantas de varios continentes, donde 17 años de historias exitosas se han traducido en beneficios económicos para las plantas.

El concepto implícito en SOLCEP es el "mantenimiento basado en beneficios" (BbM) como complemento a las estrategias de mantenimiento habituales: las basadas en el tiempo, las basadas en la condición o las predictivas. Estas tres últimas estrategias de mantenimiento están orientadas a obtener los objetivos de seguridad y fiabilidad compartidos por todas las tecnologías de generación de electricidad; entendiendo la seguridad como la de las personas, fuera y dentro de la planta, el medio ambiente y los equipos, en este orden. BbM está orientado a obtener el máximo beneficio

económico mediante el cuidado de la eficiencia, que históricamente no ha sido una prioridad de las plantas.
Mejorar o mantener la eficiencia es uno de los principales retos de esta era para las centrales eléctricas. Por lo tanto, el concepto BBM aplicado con la ayuda de herramientas de monitorización, está llamado a desempeñar un papel importante para mejorar la eficiencia que, en las plantas que operan principalmente a plena potencia, es equivalente a aumentar o mantener la potencia máxima.

Las centrales eléctricas que pretenden prolongar sus vidas más allá de su vida de diseño también pueden aprovechar la identificación y cuantificación de las ineficiencias en los equipos para abordar mejor las inversiones necesarias.

BbM debe decirnos cuando una acción de mantenimiento, restaurando la eficiencia de un equipo, es beneficiosa desde el punto de vista económico. Esta ecuación tiene tres términos: primero, las pérdidas asociadas a una desviación particular; segundo, el costo de las acciones de mantenimiento o sustitución de equipos, que también puede incluir la necesidad de detener la planta; y tercero, la tasa de degradación estimada después de la restauración. SOLCEP da información sobre el primer y tercer términos, ayudando a tomar la mejor decisión. El segundo término se puede evaluar y programar con bastante antelación porque las acciones de mantenimiento se suelen abordan sólo durante las revisiones mayores de las plantas.

Las herramientas de monitorización, junto con la aplicación del BbM, deben agregar dos funcionalidades adicionales: primero, la ayuda en la toma de decisiones de optimización operacional, lo que es particularmente importante para las plantas que operan a cargas variables, con diferentes configuraciones y combustibles, o paran y arrancan frecuentemente; y segundo el diagnóstico asistido, para ayudar a identificar las causas últimas de una determinada desviación.

## 2. PROPOSITOS DE LAS HERRAMIENTAS DE MONITORIZACIÓN

A juicio de los autores, los principales propósitos de una herramienta de monitorización del rendimiento, aplicables a cualquier tecnología de generación eléctrica, deben ser los siguientes.

El primer propósito debe ser obtener una cuantificación, lo más exacta posible, de la situación actual de la planta, utilizando sólo la instrumentación de proceso. Esto incluye evaluar el estado termodinámico y el caudal másico en cada punto relevante de los circuitos de proceso.

Los estados termodinámicos y los flujos se obtienen utilizando balances de potencia en el eje de las turbinas junto con balances de masa y energía globales y parciales en el ciclo de Rankine y en los intercambiadores de calor. Este procedimiento permite obtener los valores de variables no instrumentadas como la humedad en el escape de las turbinas de vapor.

Los flujos no instrumentados se pueden estimar a partir de la apertura de las válvulas de control y su curva característica, o bien realizando medidas de campo durante ensayos específicos.

El estado de rendimiento de la planta se representa finalmente por los indicadores clave de rendimiento (KPI) de los equipos, de los sistemas y de la planta, cuyo seguimiento facilita la alerta de desviaciones y el proceso de diagnóstico. La figura 1 muestra la secuencia de cálculo para un ciclo combinado.

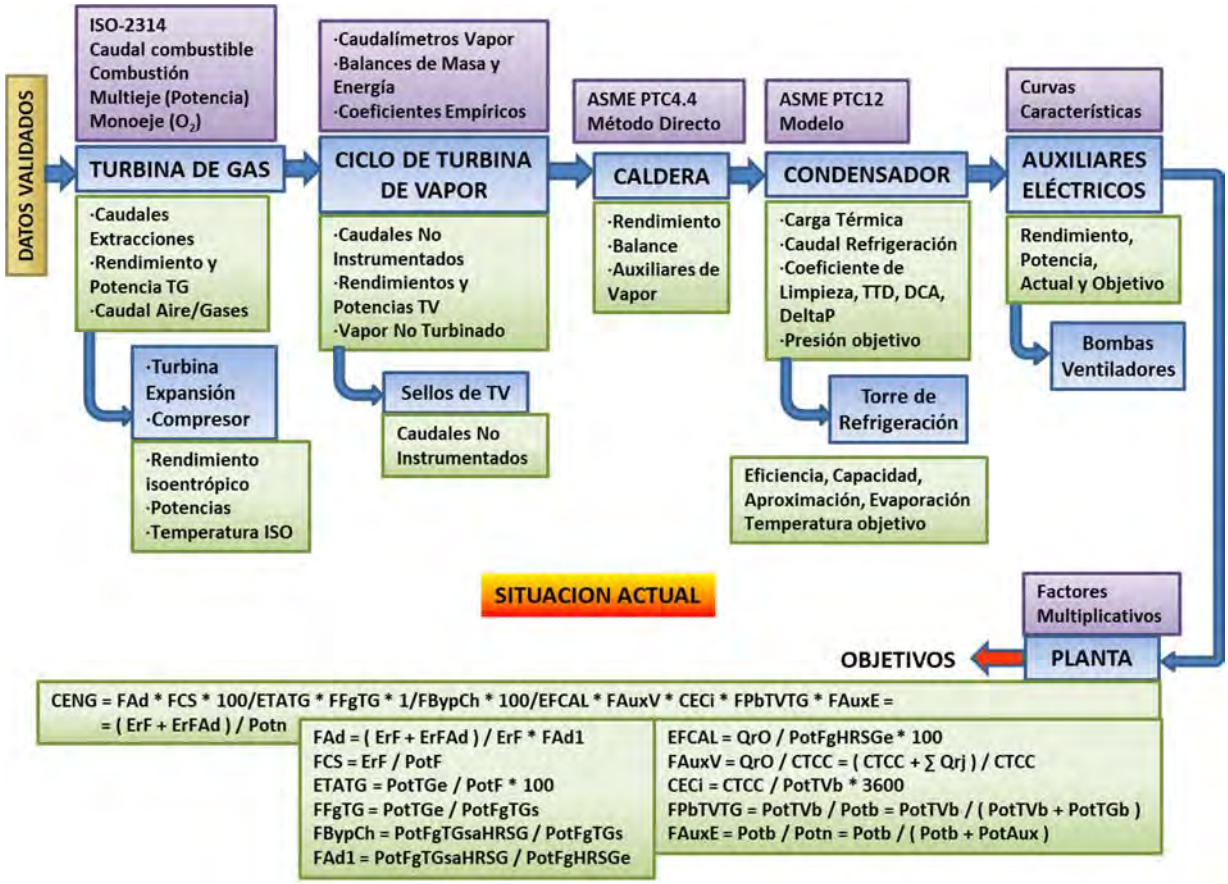



**Figura 1.** *Diagrama de bloques del cálculo del rendimiento actual. Ciclo Combinado.*

El segundo propósito debe ser la determinación, de la forma más precisa posible, de los objetivos individuales de cada parámetro, equipo y sistema, cuya desviación afecte de manera significativa al consumo específico y a la potencia máxima alcanzables. Estos objetivos deben obtenerse para la condición operativa y condiciones de contorno actuales de la planta: nivel de carga o tiempo de parada, situaciones de arranque, situaciones de acoplamiento de sistemas, condiciones ambientales y combustible.

Los objetivos, para ser representativos, se deben obtener de diversas fuentes: los datos de diseño de la turbina de vapor, los balances de diseño a distintas cargas, los resultados de las pruebas de aceptación, los datos de diseño de equipos y sus curvas características, la regresión estadística de los mejores registros de datos históricos (p.ej. auxiliares eléctricos o agua de aporte), y de modelos de simulación específicos de los componentes más influyentes (p.ej. el condensador y la torre de refrigeración).

Los objetivos también deben considerar la degradación no recuperable y recuperable de los equipos existentes, o ser actualizados si los equipos son sustituidos por otros más eficientes. La turbina de gas y la turbina de vapor son los equipos principales donde considerar la degradación. Los valores objetivo de cualquier sistema de monitorización deberían ser actualizados tras cada mantenimiento mayor, ya que el estado de la planta tras la intervención suele reflejar los mejores valores obtenibles.

Y el tercer propósito debe ser el cálculo de la contribución de cada sistema, componente y parámetro operacional, a la desviación del consumo específico y de la potencia máxima. Esto constituye el conjunto principal de valores para BbM. El impacto o contribución de cada una de las desviaciones se debe expresar en unidades energéticas para el consumo específico, en MW para la potencia, y también en unidades monetarias para ambos. La figura 2 muestra todos los parámetros primarios considerados en un modelo de ciclo combinado genérico.

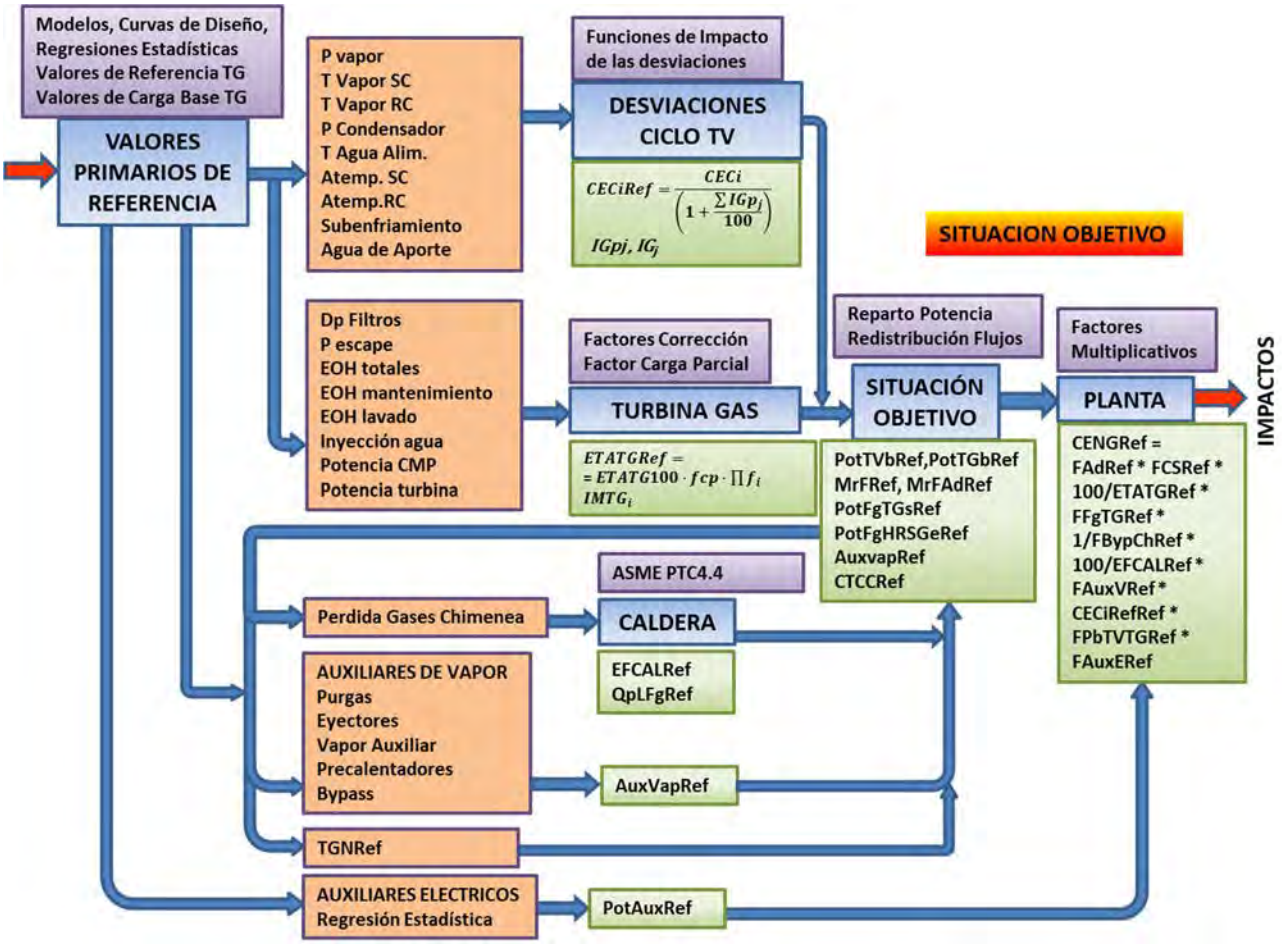



**Figura 2.** *Diagrama de bloques del cálculo del rendimiento objetivo. Ciclo Combinado.*

El impacto de una sola desviación en el consumo específico y/o la potencia máxima se obtiene principalmente de la documentación técnica de los proveedores de turbinas de vapor y de turbinas de gas que suelen utilizar simuladores de estado estacionario ajustados a las características de diseño de los equipos de la planta. Pero esta no es la única fuente, los simuladores debidamente validados (frente al comportamiento real de la planta y transitorios) deberían ser una de las fuentes preferenciales para obtener funciones de impacto.

La utilización de funciones de impacto paramétricas frente a la utilización directa de modelos de simulación tiene grandes ventajas frente a la utilización en tiempo real de modelos de simulación, entre las que destacan la rapidez de cálculo y la facilidad de interpretación de los resultados.

Los resultados de la herramienta de monitorización deben recopilarse en pantallas para su visualización en línea y alerta temprana de desviaciones, y en informes para resultados promedio y acumulados, utilizados con fines de contabilidad y de diagnóstico de desviaciones a medio y largo plazo. La estética y disposición de los elementos utilizados en estas pantallas deberían seguir los

postulados de la *Ingeniería de Factores Humanos* en cuanto a la abstracción de la información y su transmisión a los usuarios. La figura 3 muestra, como ejemplo de aplicación de esta filosofía, la pantalla principal para las desviaciones del consumo específico en un ciclo combinado.

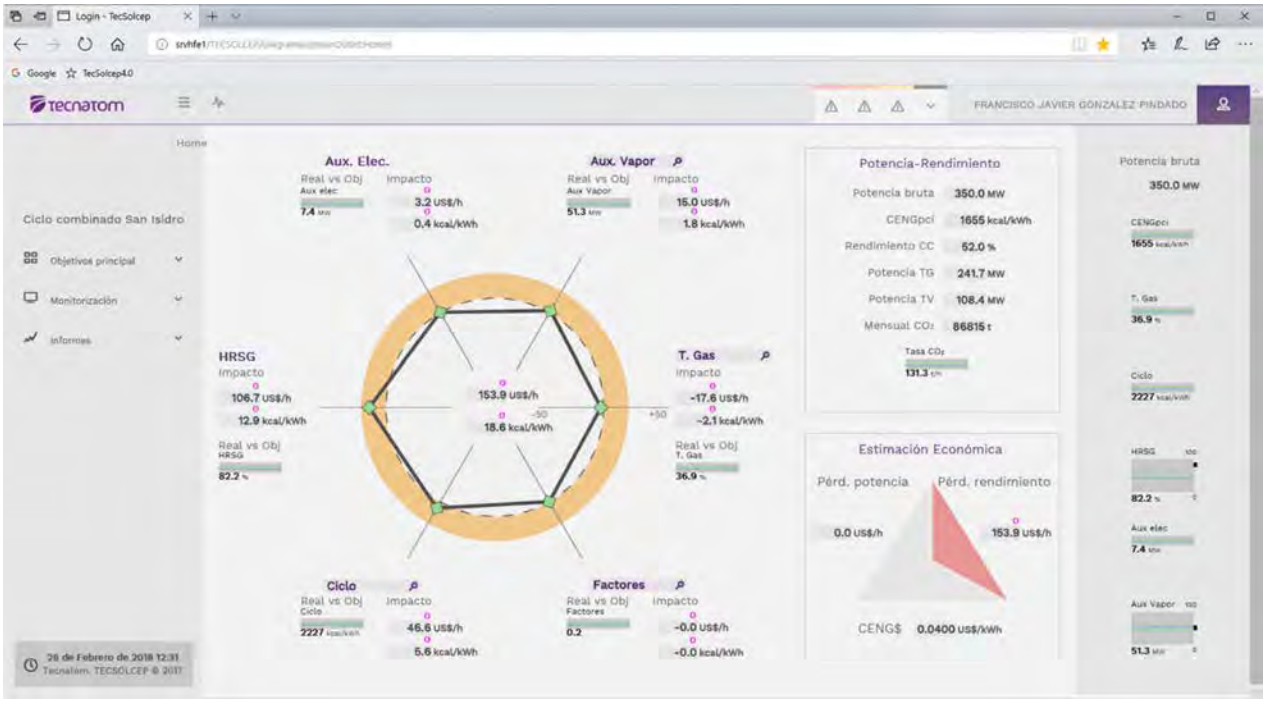



**Figura 3.** *Pantalla de Desviaciones: Contribuciones a la desviación del Consumo Específico. Ciclo Combinado.*

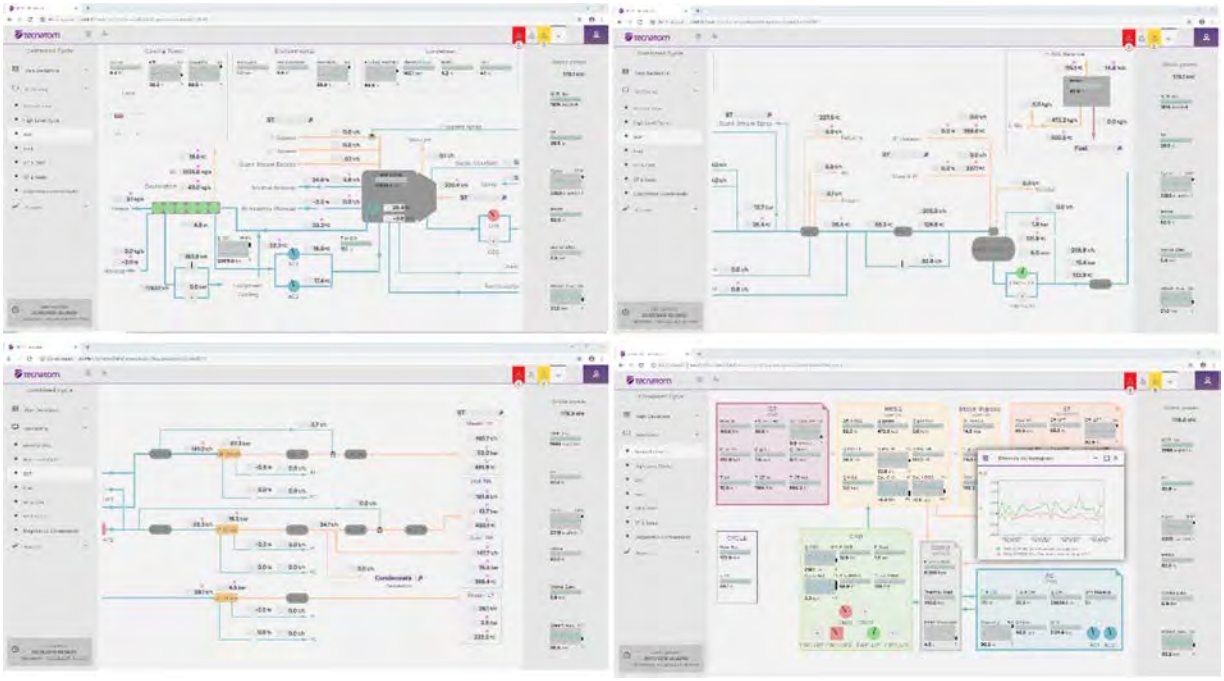


**Figura 4.** *Pantallas de Proceso: pantalla deslizante y pantalla de alto nivel. Ciclo Combinado.*

La figura 4 muestra la aplicación de la ingeniería de factores humanos y pantallas de alto rendimiento en una herramienta de monitorización. Como ejemplos se muestran la pantalla de

proceso, que cubre toda la planta y se visualiza mediante deslizamiento, y una pantalla de alto nivel del ciclo que cubre los parámetros e indicadores de rendimiento más significativos de toda la planta. Como características más importantes cabe citar la de centrar el foco del usuario en los elementos que requieren su atención, sin sobrecargarlo con un exceso de información; y la de utilizar elementos con un alto grado de abstracción como el polígono deformable y anillo variable en tamaño y color de la figura 3.

## 3. OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN

Para lograr que una herramienta de Optimización de la Operación sea precisa a la hora de evaluar alternativas y hacer proyecciones de futuro, necesita recabar información no solo de las herramientas de monitorización del rendimiento, sino también de las aplicaciones de mercado que suministren proyecciones de precios y demanda de carga, y de las aplicaciones de predicción meteorológica.

Las ventajas de este intercambio de información es la utilización de valores actuales del rendimiento de los distintos equipos y sistemas, información acerca de la evolución de la degradación de determinados equipos, y las mejores predicciones en cuanto a las condiciones de contorno.

La toma de decisiones operativas o de mantenimiento basadas en los resultados de estas herramientas de optimización pueden suponer, en función de la fiabilidad de las proyecciones, importantes beneficios económicos y una ventaja competitiva.

Las herramientas de monitorización deberían incluir dentro de su estructura elementos de optimización para equipos o sistemas individuales. En SOLCEP se han incluido varios de estos elementos de optimización de la operación que están ayudando a las plantas a tomar decisiones. Como ejemplo se pueden citar los siguientes: número óptimo de celdas operativas en una torre de refrigeración, número óptimo de bombas de agua de circulación en marcha, periodo óptimo de lavado del compresor de una turbina de gas, fracción de recirculación del precalentador de una caldera de recuperación para evitar el rocío ácido, selección de bombas redundantes, selección de la fuente de vapor de suministro en una planta de cogeneración entre caldera auxiliar y extracción de vapor de turbina.

La figura 5 muestra la pantalla de ayuda para el número óptimo de torres en un caso real. El modelo utiliza un sistema de simulación para el conjunto condensador-torres y una curva de impacto paramétrica para la influencia de la presión del condensador en la potencia de la turbina. El cálculo del impacto de quitar o poner un ventilador en la torre se evalúa considerando su consumo eléctrico y calculando sucesivamente la variación de la temperatura de salida de la torre, la variación de la presión del condensador y la variación que esto provocaría en la potencia de la turbina de vapor. En el caso representado, para la carga térmica del condensador y las condiciones ambientales se recomienda arrancar un ventilador más, con una mejora de la potencia neta de 0.68 MW. Una vez arrancado el ventilador, si la planta está en carga base se traduciría directamente en aumento de potencia neta, en caso de estar en control de carga se traduciría en disminución de consumo de combustible.

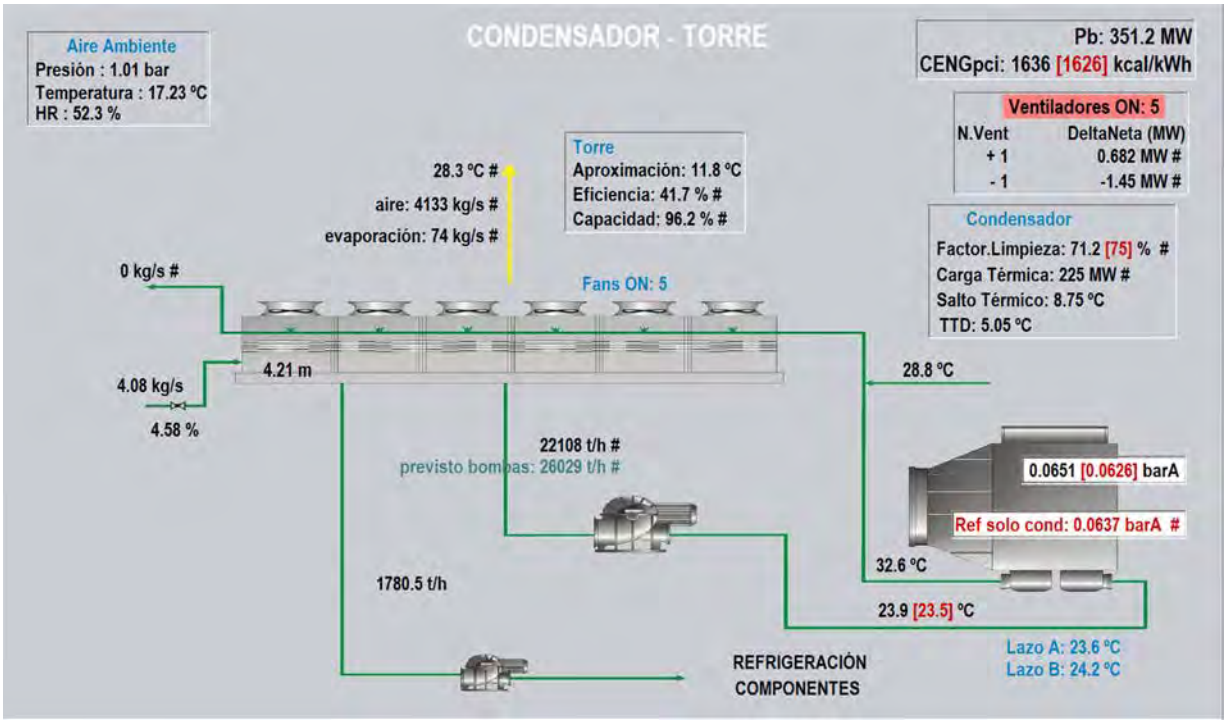



**Figura 5.** *Pantalla de Proceso Condensador-Torre: Optimización del número de ventiladores. Ciclo Combinado.*

Para contestar preguntas relativas al comportamiento global de la planta en cuanto al consumo de combustible o la potencia máxima, es conveniente disponer además de un Simulador de Estado Estacionario de la planta. Este simulador debe ser una herramienta flexible que permita realizar los cálculos con diferentes opciones: condiciones de contorno actuales o de referencia (ambientales y de combustible), rendimiento actual o de diseño de los equipos, y distintas configuraciones de la planta (especialmente en ciclos combinados 2x1 con baipás de gases).

En los ciclos combinados, por ser su desempeño muy dependiente de las condiciones atmosféricas, es muy importante que estos simuladores de estacionario puedan incorporar predicciones, de manera que se puedan tomar decisiones operativas con anticipación.

La figura 6 muestra una de las pantallas web de un simulador de estacionario de estas características que forma parte separada del sistema Tecos-SOLCEP.

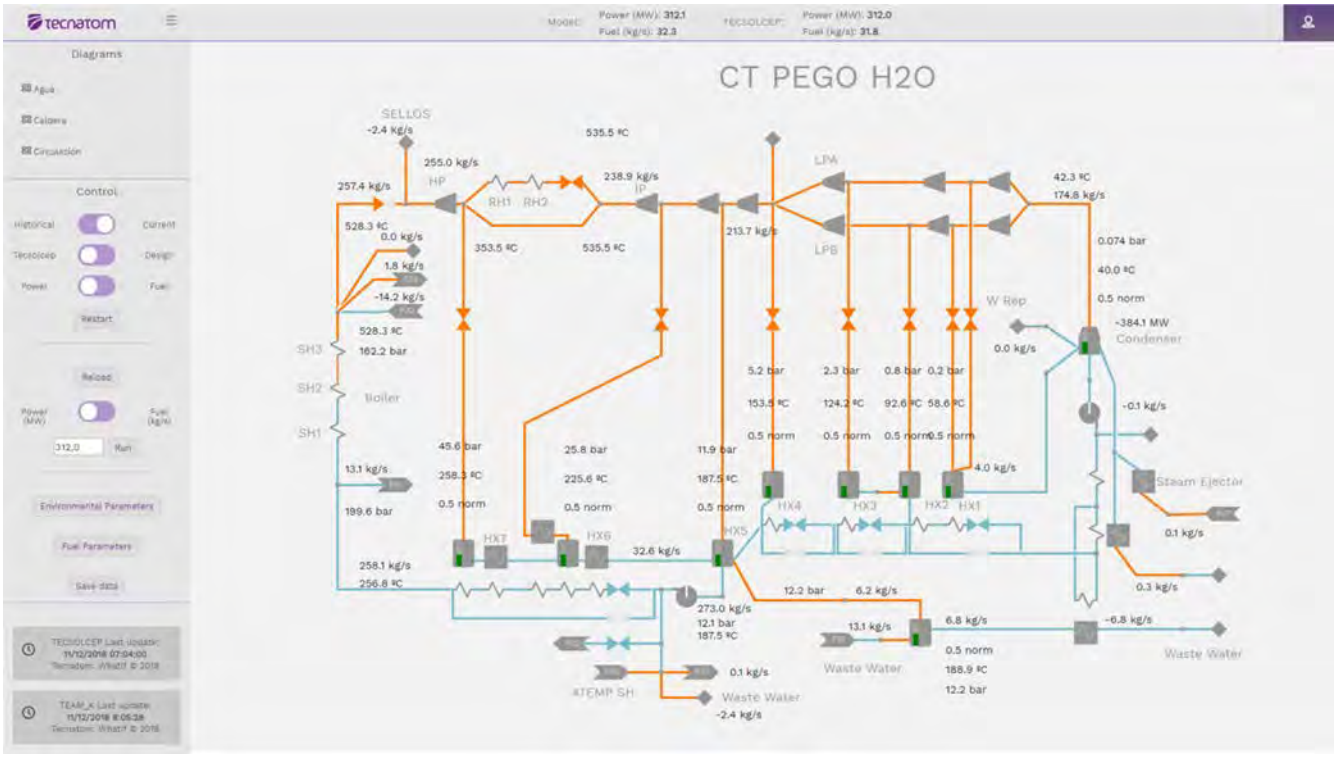



**Figura 6.** *Pantalla de Simulador de Estacionario para Optimización de la Operación. Central de Carbón.*

## 4. DIAGNÓSTICO ASISTIDO

Una herramienta de monitorización debería incluir la funcionalidad de diagnóstico de las causas últimas de las desviaciones de rendimiento de los equipos individuales. Esta funcionalidad dota al usuario-ingeniero de la capacidad de identificar de forma guiada la causa raíz y de tomar decisiones en cuanto a las intervenciones de mantenimiento o reparación, o de selección de equipos redundantes. En ocasiones, las decisiones pueden estar relacionadas con la variación de la configuración operacional de la planta, o la variación de los puntos de consigna, destinadas a restaurar o minimizar el efecto de una determinada degradación o malfunción.

A esta funcionalidad se la denomina Diagnóstico Asistido. La motivación principal de esta aplicación es la de capturar el conocimiento y la experiencia de diagnóstico de los profesionales dedicados a la monitorización de rendimientos.

En general, el Diagnóstico Asistido de un equipo se basa en cuatro conceptos:

- los valores de la instrumentación relacionada con el equipo,
- los valores previstos para cada variable instrumentada,
- las reglas lógicas para el diagnóstico y para las verificaciones recomendadas,
- los resultados de las inspecciones y medidas de campo recomendadas.

Todos estos conceptos se combinan en la formulación de un modelo de diagnóstico particular para cada equipo, cuyos resultados se recogen en la pantalla de diagnóstico del equipo, uno de cuyos ejemplos se puede ver en la figura 7.

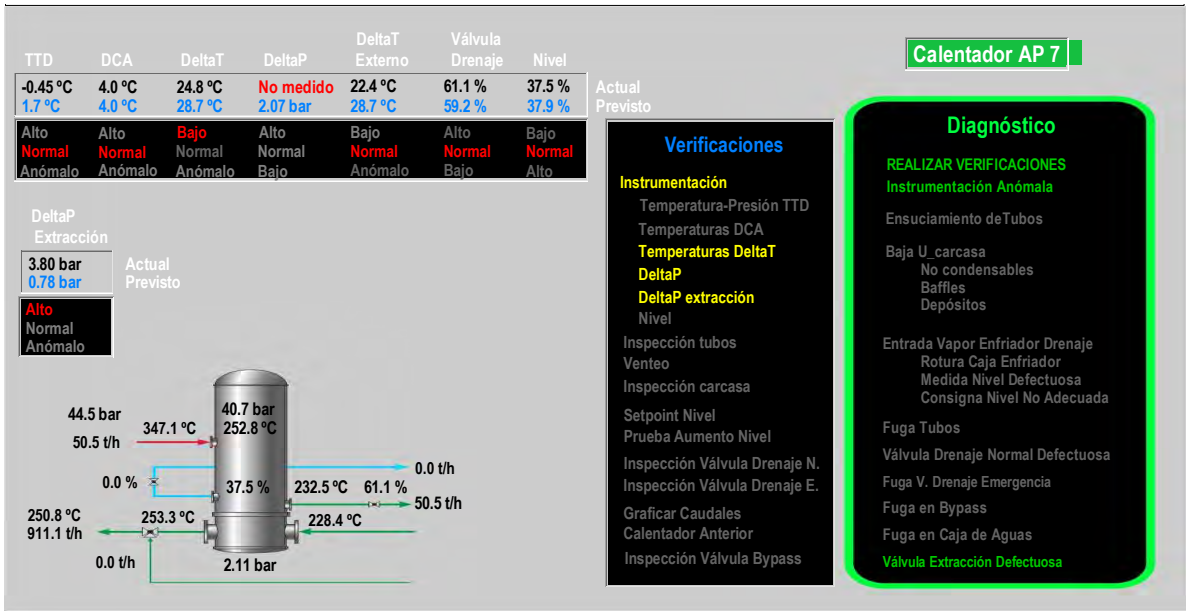



**Figura 7.** *Pantalla de Diagnóstico Asistido. Calentador de Agua de Alimentación.*

La pantalla de diagnóstico estará compuesta en general por los siguientes elementos:

- valores actuales y previstos de la instrumentación y de los indicadores derivados más relevantes,
- estado de la instrumentación basado en las desviaciones entre valores actuales y valores previstos,
- diagrama de proceso e instrumentación del equipo con los valores y situación de la instrumentación asociada al equipo,
- resultado del Diagnóstico, en el que pueden aparecer varias causas posibles que expliquen las desviaciones,
- Verificaciones recomendadas para centrar y confirmar el diagnóstico.

Los valores previstos para la instrumentación e indicadores de cada variable instrumentada se obtienen en general de periodos históricos, almacenados en la base de datos, en que los equipos estaban en perfectas condiciones; por ejemplo, al comienzo de la operación de la planta o tras el mantenimiento de un equipo particular.

Las reglas lógicas permiten tanto identificar anomalías de la instrumentación, como relacionar las desviaciones, y combinaciones de estas, con las causas que las originan. Estas reglas se han obtenido en general del documento guía “ASME PTC-PM 2010”, pero también del uso intensivo de Simuladores Dinámicos de las plantas y de las lecciones aprendidas de experiencias operativas reales.

Una vez consultado en línea el diagnóstico inicial de un equipo, en el que aparecen varias causas posibles para las desviaciones detectadas, o tras ser alertados por los “botones de alarma”, se debe iniciar una “Sesión de Diagnóstico” para avanzar en la discriminación o confirmación de las causas.

Durante una Sesión de Diagnóstico de un equipo se deben seguir las recomendaciones de comprobación de la instrumentación, de inspecciones, de medidas en campo, de pruebas o de realización de gráficos de tendencia. Una vez realizadas estas comprobaciones, se realimentará su

resultado a la aplicación de Diagnóstico. De esta manera desaparecería la recomendación ya realizada y en el cuadro de Diagnóstico podría desaparecer o confirmarse alguna de las causas posibles.

La dinámica del Diagnóstico requiere la realización de todas y cada una de las recomendaciones para poder confirmar el diagnóstico. Por este motivo una sesión puede durar varias horas, o incluso días, hasta que se realicen todas las recomendaciones y se confirme el diagnóstico.

Los equipos que debe incluir una aplicación de Diagnóstico asistido son los principales de una planta en los que suele existir instrumentación suficiente: Intercambiadores de Calor, Condensador, Torre de Refrigeración, Bombas y Ventiladores, Turbina de vapor y Turbina de gas.

## 5. ENTORNO DIGITAL

Las herramientas de monitorización modernas deben incorporar además los requisitos del entorno digital emergente:

- arquitectura web para proporcionar la comunicación necesaria con cualquier dispositivo, estático o móvil, dentro o fuera de una red de empresa
- una implementación en la nube que cubra temas de ciberseguridad, junto con la confiabilidad de almacenamiento y ejecución
- una programación abierta al crecimiento y la mejora por integración o interconexión con otras aplicaciones o programas relacionados con las centrales de producción de energía; entre los que cabe citar la gestión de inspecciones, pruebas y mantenimientos, o las herramientas de mantenimiento predictivo basadas en análisis avanzado de datos.
- una interfaz de usuario basada en las metodologías más avanzadas provenientes de la ingeniería de factores humanos y pantallas de alto rendimiento

## 6. CONSIDERACIONES FINALES

Este artículo refleja la opinión de los autores sobre las características y funcionalidades que debe poseer una herramienta de monitorización y control de rendimientos en el entorno digital actual. Esta opinión está basada en años de experiencia en el seguimiento y diagnóstico de las desviaciones de rendimiento en centrales y en el desarrollo de soluciones informáticas y de modelos de simulación. La información suministrada por estas herramientas a los profesionales de las centrales y de los centros de monitorización ha servido para tomar las mejores decisiones en cuanto al mantenimiento de equipos y optimización de la operación.

TecOS-SOLCEP, es la herramienta de monitorización desarrollada por los autores que posee las características citadas en este documento y está integrada en la “suite” TecOS de la empresa Tecnatom, que es un set integrado de soluciones, diseñado para gestionar los activos de los sectores energético e industrial.

El uso de estos sistemas de monitorización en una flota de centrales, con su componente de estandarización de la visualización, de la operativa, y de la nomenclatura, permite la intercambiabilidad de profesionales de seguimiento y diagnóstico, y la optimización del número de especialistas necesarios en los centros de monitorización. La utilización en una flota permite también la evaluación comparativa entre unidades de la misma tecnología, y la identificación de las

mejores prácticas, que pueden ser compartidas así más fácilmente entre los operadores y los técnicos.

## 7. REFERENCIAS

ASME PTC PM-2010 (2010).: Performance Monitoring Guidelines for Power Plants.

EPRI 1020645 (2010).: Plant Support Engineering: Guideline for System Monitoring by System Engineers

ANSI/ISA-101.01 (2015).: Human-Machine Interfaces

VICENTE AND RASMUSSEN (1992).: Ecological Interface Design: Theoretical Foundations

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

15:50 - 17:50

**SESIÓN 6 Track B. MyV y COMISSIONING**

Modera: Rafael Poquet. **EMIN.ENERGY**

"Establecimiento y control de criterios que aseguren la calidad en los procesos de Commissioning" **Juan Manuel García Sánchez.** Gerente de Energía. **AENOR**

"Aplicación del Commissioning en las Certificaciones Sostenibles Leed" **Josep Masach.** CEO. **PROISOTEC ENGINYERIA**

"Mejora de la eficiencia de las plantas mediante sistema de monitorización TecOS-SOLCEP" **Francisco Javier González** Responsable Operaciones **TECNATOM**

"Caso práctico de aplicación del retrocommissioning en un aulario de la Universidad Rey Juan Carlos" **Javier Orellana Sanz.** Gestor Energético Unefe **UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS (URJC)**

"IPMVP para calcular los ahorros, pero ¿puede haber 10% de diferencia en ahorro en Coste Evitado vs Ahorro Normalizado?" **María Cubillo Sagüés.** CEO. **SinCeO2 CONSULTORÍA ENERGÉTICA**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# APLICACIÓN DEL PROCESO DE RETROCOMMISSIONING EN UN AULARIO DE LA URJC

Javier Orellana Sanz

Universidad Rey Juan Carlos | Unidad de Eficiencia Energética

aee The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice


1 CONTEXTO

2 OBJETIVO DEL PROYECTO Y METODOLOGÍA

3 PLANIFICACIÓN

4 AUDITORÍA FUNCIONAL

5 IMPLANTACIÓN DE MEJORAS OPERATIVAS

6 CONCLUSIONES

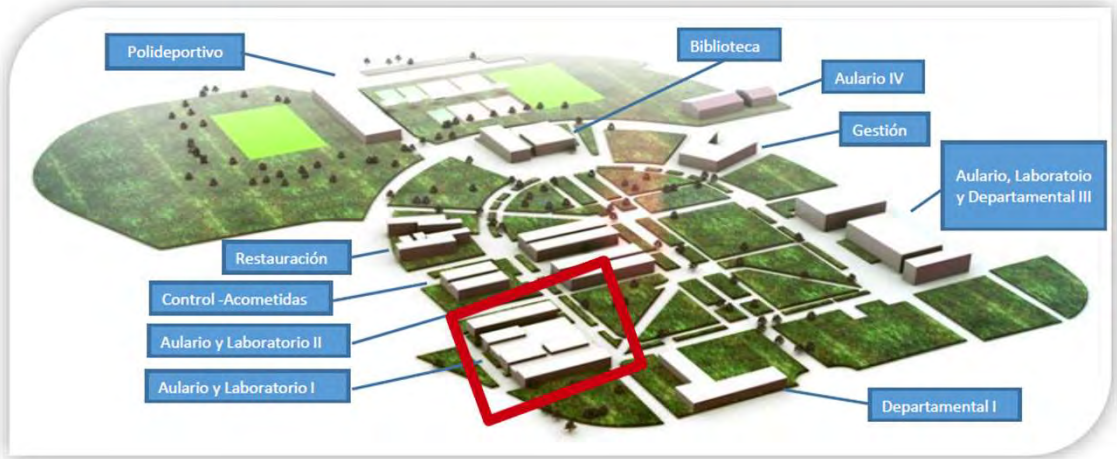
# CONTEXTO

- **50 Edificios**: Aularios, Laboratorios, Departamentales, Bibliotecas, Administrativos, Comedores, Clínica, Animalario, Técnicos, Urbanización, …
- **320.000 m2** construidos
- **50.000 personas** diarias
- **SGE – ISO 50001** desde 2014

# OBJETIVO DEL PROYECTO

- Analizar el funcionamiento y las condiciones de confort de una tipología de edificio que se repite en el mundo de las universidades, el Aulario, aplicando un proceso de retrocommissioning.
- Piloto para verificar la conformidad de un proceso de retrocommissioning.
- Formación a alumnos en esta actividad.

# ELECCIÓN DEL EDIFICIO



DATOS DEL EDIFICIO

- **Superficie construida:** 7.414 $m^2$
- **Plantas sobre rasante:** 2 + cubierta
- **Plantas bajo rasante:** 1
- **Comunidad autónoma:** Madrid
- **Localidad:** Fuenlabrada
- **Nombre de la vía:** Camino del Molino S/N
- **Año de construcción:** Finalización 30 de julio de 2001
- 16 Aulas y 21 Laboratorios

# METODOLOGÍA

El Retrocommissioning o Commissioning en edificios existentes (EBCx – Existing Building Commissioning) es un proceso que consiste en investigar, analizar y optimizar el funcionamiento de las instalaciones de un edificio, buscando identificar e implementar actuaciones de bajo coste que aseguren el mantenimiento de rendimientos operativos y prolongue la vida útil del edificio.

El desarrollo del trabajo ha seguido las siguientes fases:

Planificación

# PLANIFICACIÓN

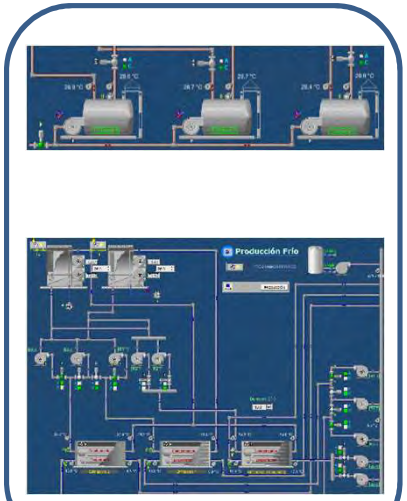
- Objetivo: análisis detallado del funcionamiento del Sistema de Climatización, ya que este es el mayor consumidor del edificio y el que proporciona el confort ambiental a los usuarios.
- Revisión de la documentación existente: proyecto y planos.
- Visita de inspección previa a la auditoría funcional.
- Análisis de las quejas más habituales y revisiones de mantenimiento.

Auditoría Funcional

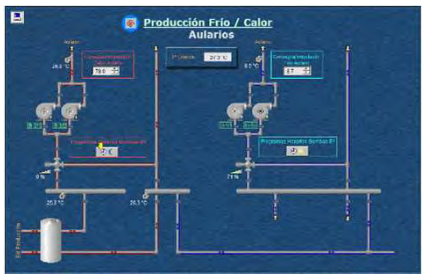
# SISTEMA ANALIZADO

El **Sistema de Climatización** del Edificio Aulario 1 está constituido por una subcentral de bombeo de agua caliente y fría (bombeo terciario) procedente de 2 centrales de producción (District Heating/Cooling) y una red de distribución que suministra la energía a los equipos secundarios o terminales formados por Climatizadores y Fancoils.

**Centrales de Producción**




**Bombeo Edificio**




**Unidades Terminales**

CL 1/1 Aula 6
CL 1/2 Aula 4
CL 2 Aula 5
CL 3 Aula 3
CL 4 Aula 1
CL 5 Aula 2
CL 6 Aula 109
CL 7/1 Aula 108
CL 7/2 Aula 107
CL 8 Aula 106
CL 9 Aula 105
CL 10 Aula 104
CL 11 Aula 101
CL 12 Aula 102
CL 13 Aula 103
CL-17 Aula 7

Auditoría Funcional

# ANÁLISIS DE CONSUMOS

Edificio Aulario-Laboratorio 1

- Demanda Térmica calculada (no existe medida directa):

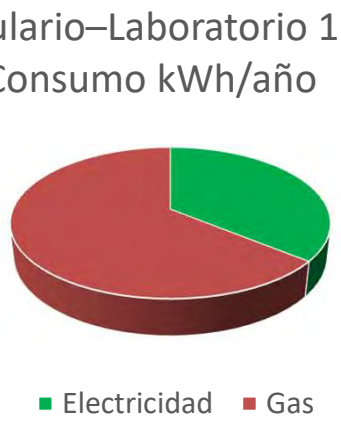
  Calefacción = 849.370 kWh/año

  Refrigeración = 219.291 kWh/año

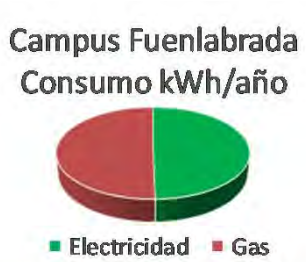
  1.068.661 kWh/año

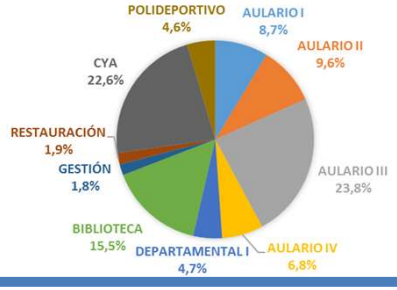
- Consumo eléctrico registrado: 256.025 kWh/año

- Coste total asociado: **75.000 €/año**




Campus Fuenlabrada

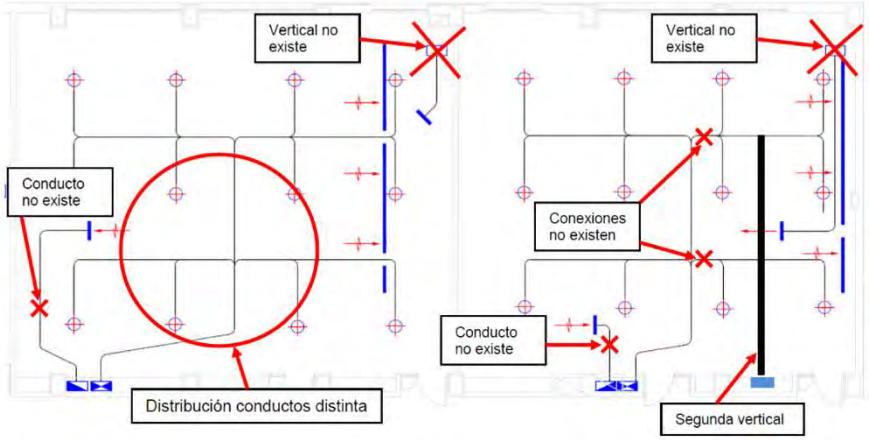


Auditoría Funcional

# RESULTADOS DEL ANÁLISIS

- **Los planos y documentación de proyecto no corresponden con la realidad:**
  - ✓ Discrepancias en trazados de conductos y tuberías.
  - ✓ No concuerdan número y situación de elementos de difusión.
  - ✓ Diferencias de caudales en espacios similares
  - ✓ No existen elementos de regulación en aire



Auditoría Funcional

# RESULTADOS DEL ANÁLISIS

- **Distribución hidráulica de climatización desequilibrada**

Como se puede observar, los porcentajes de caudal de agua caliente con respecto a diseño varían entre el **61%** de mínimo y el **180%** de máximo.

En el circuito de frío, estos porcentajes varían entre el **111%** y el **183%**.

Los caudales de diseño han sido sacados de los planos existentes, coincidiendo el total con el caudal de placa de bombas

**DISTRIBUCION DE AC : CIRCUITO AULARIO**
Equilibrado Hidráulico

| Descripción | | | | | | TEST | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Referencia | Fabricante | Modelo | DN mm | Q Diseño l/h | Posición | Kv | ΔP Kpa | Q Test l/h | % | Observaciones |
| CL 1/1 Aula 006 | TA | STAD | 32 | 3.290 | 3.9 | 18.6 | 3.55 | 2.580 | 78,4 | |
| CL 1/2 Aula 004 | TA | STAD | 32 | 3.290 | 3.9 | 13.7 | 3,0 | 2.380 | 72,3 | |
| CL 2 Aula 005 | TA | STAD | 32 | 3.020 | 3.9 | 13.7 | 4,9 | 3.035 | 100,5 | |
| CL 3 Aula 003 | TA | STAD | 32 | 3.410 | 3.9 | 13.7 | 2,8 | 2.280 | 66,9 | |
| CL 4 Aula 001 | TA | STAD | 40 | 4.420 | 4.0 | 19.2 | 4,3 | 3.960 | 89,6 | Volante roto |
| CL 5 Aula 002 | TA | STAD | 40 | 4.530 | 3.9 | 18.6 | 6,7 | 4.810 | 106,2 | |
| CL 6 Aula 109 | TA | STAD | 25 | 1.530 | 3.9 | 8.59 | 3,8 | 1.675 | 109,5 | |
| CL 7/1 Aula 108 | TA | STAD | 25 | 1.435 | 3.9 | 8.59 | 4,1 | 1.740 | 121,3 | |
| CL 7/2 Aula 107 | TA | STAD | 25 | 1.435 | 3.9 | 8.59 | 6,9 | 2.250 | 156,8 | |
| CL 8 Aula 106 | TA | STAD | 25 | 1.500 | 3.9 | 8.59 | 5,8 | 2.070 | 138,0 | |
| CL 9 Aula 105 | TA | STAD | 32 | 2.000 | 3.9 | 13.7 | 3,6 | 2.580 | 129,0 | |
| CL 10 Aula 104 | TA | STAD | 32 | 2.000 | 3.9 | 13.7 | 4,4 | 2.855 | 142,8 | |
| CL 11 Aula 101 | TA | STAD | 32 | 2.250 | 3.9 | 13.7 | 2,1 | 1.995 | 88,7 | |
| CL 12 Aula 102 | TA | STAD | 32 | 2.780 | 4.0 | 14.2 | 2,3 | 2.135 | 76,8 | Volante roto |
| CL 13 Aula 103 | TA | STAD | 32 | 2.870 | 4.0 | 14.2 | 1,5 | 1.750 | 61,0 | Volante roto |
| CL 17 Salón Actos | TA | STAD | 40 | 6.383 | 3.9 | 18.6 | 38,4 | 11.525 | 180,6 | |
| | | | | | | | | | | |
| VE COMP. General | TA | STAF | 100 | 46.143 | 8.0 | 190 | 6,8 | 49.620 | 107,5 | |

**DISTRIBUCION DE AEF : CIRCUITO AULARIO**
Equilibrado Hidráulico

| Descripción | | | | | | TEST | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Referencia | Fabricante | Modelo | DN mm | Q Diseño l/h | Posición | Kv | ΔP Kpa | Q Test l/h | % | Observaciones |
| CL 1/1 Aula 006 | TA | STAD | 40 | 4.625 | 3.9 | 18.6 | 7,9 | 5.210 | 112,6 | |
| CL 1/2 Aula 004 | TA | STAD | 40 | 4.625 | 3.9 | 18.6 | 10,1 | 5.895 | 127,5 | |
| CL 2 Aula 005 | TA | STAD | 40 | 4.545 | 3.9 | 18.6 | 10,3 | 5.970 | 131,4 | |
| CL 3 Aula 003 | TA | STAD | 40 | 4.470 | 3.9 | 18.6 | 7,2 | 4.965 | 111,1 | |
| CL 4 Aula 001 | TA | STAD | 50 | 5.980 | 3.9 | 31.6 | 7,6 | 8.680 | 145,2 | |
| CL 5 Aula 002 | TA | STAD | 50 | 5.995 | 3.9 | 31.6 | 6,6 | 8.110 | 135,3 | Volante roto |
| CL 6 Aula 109 | TA | STAD | 32 | 2.595 | 3.9 | 13.7 | 6,2 | 3.420 | 131,8 | |
| CL 7/1 Aula 108 | TA | STAD | 32 | 2.505 | 3.9 | 13.7 | 9,7 | 4.260 | 170,1 | |
| CL 7/2 Aula 107 | TA | STAD | 32 | 2.505 | 3.9 | 13.9 | 5,9 | 3.335 | 133,1 | Volante roto |
| CL 8 Aula 106 | TA | STAD | 32 | 2.535 | 3.9 | 13.7 | 11,4 | 4.640 | 183,0 | |
| CL 9 Aula 105 | TA | STAD | 40 | 3.535 | 3.9 | 18.6 | 8.55 | 5.430 | 153,6 | |
| CL 10 Aula 104 | TA | STAD | 40 | 3.540 | 3.9 | 18.6 | 10,7 | 6.075 | 171,6 | |
| CL 11 Aula 101 | TA | STAD | 32 | 2.725 | 3.9 | 13.7 | 5,3 | 3.165 | 116,1 | |
| CL 12 Aula 102 | TA | STAD | 40 | 3.658 | 3.9 | 18.6 | 5.0 | 4.150 | 113,4 | |
| CL 13 Aula 103 | TA | STAD | 40 | 3.695 | 4.0 | 19.2 | 5,5 | 4.510 | 122,1 | |
| CL 17 Salón Actos | TA | STAD | 50 | 11.804 | 3.9 | 31.6 | 26.8 | 16.370 | 138,7 | |
| | | | | | | | | | | |
| VE COMP. General | TA | STAF | 125 | 69.337 | 8.0 | 300,0 | 11.0 | 94.185 | 135,8 | |

Auditoría Funcional

# RESULTADOS DEL ANÁLISIS

- **Cargas térmicas desproporcionadas**

Se observan valores muy por encima de lo que se considera normal, por lo que se confirma la necesidad de la realización de un estudio de cargas térmicas con el fin de verificar si los caudales de diseño son correctos o no.

| Climatizador | Aula | Superficie | Caudal medido calor (l/h) | Pot calorif media (ΔT=10º) | Ratio W/m² | Caudal medido frío (l/h) | Pot frigorif media (ΔT=6,5º) | Ratio W/m² |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CL 1/1 | Aula 006 | 148,30 m2 | 2.580 | 30,0 kWh | 202,3 | 5.210 | 39,4 kWh | 265,5 |
| CL 1/2 | Aula 004 | 148,60 m2 | 2.380 | 27,7 kWh | 186,2 | 5.895 | 44,6 kWh | 299,8 |
| CL 2 | Aula 005 | 148,75 m2 | 3.035 | 35,3 kWh | 237,2 | 5.970 | 45,1 kWh | 303,3 |
| CL 3 | Aula 003 | 148,30 m2 | 2.280 | 26,5 kWh | 178,8 | 4.965 | 37,5 kWh | 253,0 |
| CL 4 | Aula 001 | 162,95 m2 | 3.960 | 46,0 kWh | 282,6 | 8.680 | 65,6 kWh | 402,6 |
| CL 5 | Aula 002 | 146,70 m2 | 4.810 | 55,9 kWh | 381,3 | 8.110 | 61,3 kWh | 417,8 |
| CL 6 | Aula 109 | 92,60 m2 | 1.675 | 19,5 kWh | 210,3 | 3.420 | 25,8 kWh | 279,1 |
| CL 7/1 | Aula 108 | 92,50 m2 | 1.740 | 20,2 kWh | 218,7 | 4.260 | 32,2 kWh | 348,1 |
| CL 7/2 | Aula 107 | 92,20 m2 | 2.250 | 26,2 kWh | 283,8 | 3.335 | 25,2 kWh | 273,4 |
| CL 8 | Aula 106 | 92,50 m2 | 2.070 | 24,1 kWh | 260,2 | 4.640 | 35,1 kWh | 379,1 |
| CL 9 | Aula 105 | 92,50 m2 | 2.580 | 30,0 kWh | 324,3 | 5.430 | 41,0 kWh | 443,7 |
| CL 10 | Aula 104 | 93,90 m2 | 2.855 | 33,2 kWh | 353,5 | 6.075 | 45,9 kWh | 489,0 |
| CL 11 | Aula 101 | 90,95 m2 | 1.995 | 23,2 kWh | 255,1 | 3.165 | 23,9 kWh | 263,0 |
| CL 12 | Aula 102 | 126,70 m2 | 2.135 | 24,8 kWh | 195,9 | 4.150 | 31,4 kWh | 247,6 |
| CL 13 | Aula 103 | 114,80 m2 | 1.750 | 20,3 kWh | 177,3 | 4.510 | 34,1 kWh | 296,9 |
| CL 17 | Salón Actos | 308,00 m2 | 11.525 | 134,0 kWh | 435,1 | 16.370 | 123,7 kWh | 401,7 |
| | | TOTAL | 49.620 | | | 94.185 | | |

Ratios W/m²

| | Normal | Elevado | Muy elevado |
|---|---|---|---|
| Calefacción aulas (W/m2) | 150-195 | 195-255 | > 255 |
| Calefacción Salón Actos(W/m2) | 250-325 | 325-425 | >425 |

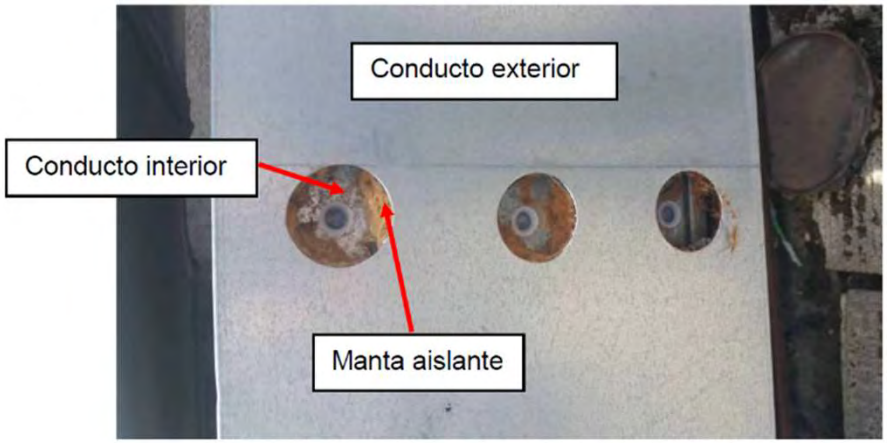
| | Normal | Elevado | Muy elevado |
|---|---|---|---|
| Refrigeración aulas (W/m2) | 230-299 | 299-391 | >391 |
| Refrigeración Salón Actos (W/m2) | 250-325 | 325-425 | >425 |

Auditoría Funcional

# RESULTADOS DEL ANÁLISIS

- **Fugas de aire en conductos de retorno ubicados en cubierta**

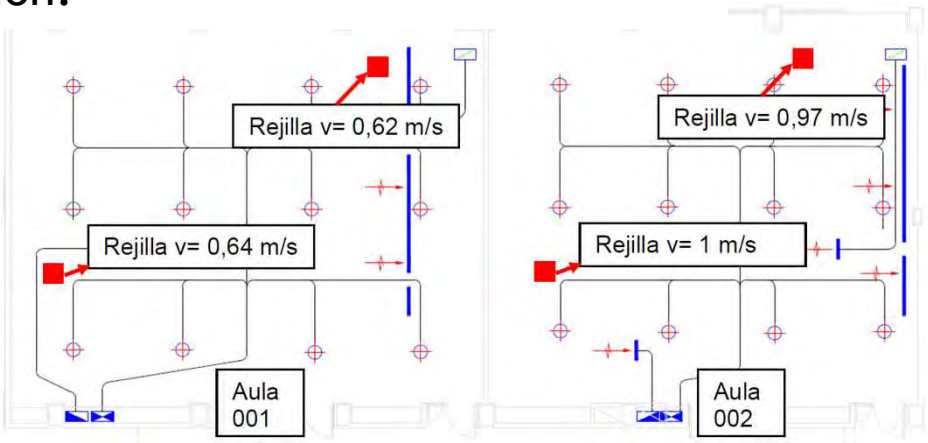
  Al practicar los puntos de medida en los conductos de chapa de la cubierta, se pudo ver que hay fugas de aire entre el conducto interior y el exterior.



Auditoría Funcional

# RESULTADOS DEL ANÁLISIS

- **Falta de renovación de aire**
  - ✓ Retorno por plenum (rejillas no conducidas).
  - ✓ Perfiles de velocidad muy bajos en rejillas de retorno.
  - ✓ Defectos de sellado en tabiquería. Ambientes comunicados.
  - ✓ Falta de renovación – sobrepresión.



Auditoría Funcional

# RESULTADOS DEL ANÁLISIS

- **Gran diferencia entre temperatura medida en retorno y ambiente**

  - ✓ Regulación por retorno.
  - ✓ Mediciones realizadas en ambiente y retorno.
  - ✓ Diferencia entre ambas de hasta 3 – 4ºC.
  - ✓ A valores más extremos de temperatura exterior mayor es la diferencia.

  - ✓ Esto provoca sobrecalentamiento y subenfriamiento que, junto con la falta de extracción de aire, explica las ventanas abiertas.

Auditoría Funcional

# RESULTADOS DEL ANÁLISIS

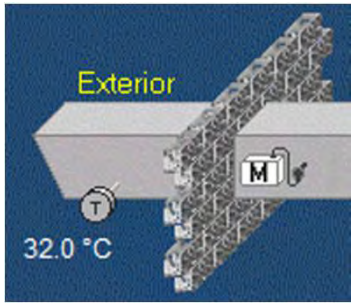
- **Sondas de Temperatura Exterior mal ubicadas**

  ✓ Hay tantas sondas exteriores como climatizadores.

  ✓ Ubicación incorrecta de las sondas. Incidencia directa del sol.

  ✓ Valores medidos muy dispares entre unas y otras.

  ✓ Esto afecta directamente al funcionamiento del freecooling.



Auditoría Funcional

# RESULTADOS DEL ANÁLISIS

- **Caudales de Aire medidos muy dispares**

  - ✓ Resultados dispares.
  - ✓ Unos próximos al 100%.
  - ✓ Otros, alrededor del 70%.
  - ✓ Caudales de diseño diferentes para una misma superficie a climatizar y con misma ocupación.

| VALORES DE REFERENCIA - PROYECTO | | | | RESULTADOS (1) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Referencia | Caudal $m^3/h$ | A. Efectiva $m^2$ | Veloc. m/s | Veloc. m/s | Caudal m3/h | % | Pst Pa | RF |
| Climatizador 1/2 Impulsión (PMC) | 3.540 | 0,16 | 6,1 | 4,2 | **2.457** | 69% | 79 | |
| Climatizador 2 Retorno (PMC) | 3.420 | 0,16 | 5,9 | 3,9 | **2.305** | 67% | 34 | |
| Climatizador CL-5 Impulsión (PMA) | 4.680 | | | | **4.871** | 104% | | |
| Climatizador CL-9 Impulsión (PMA) | 3.840 | 0,15 | 7,1 | 6,6 | **3.564** | 93% | 57 | |
| Climatizador CL-9 Retorno (PMC) | 3.840 | 0,15 | 7,1 | 7,7 | **4.158** | 108% | 90 | |
| Climatizador CL-11 Impulsión (PMC) | 2.100 | 0,10 | 5,8 | 5,1 | **1.836** | 87% | 55 | |
| Climatizador CL-11 Retorno (PMC) | 2.100 | 0,10 | 5,8 | 4,0 | **1.440** | 69% | 39 | |
| Climatizador CL-12 Retorno (PMC) | 3.150 | 0,14 | 6,4 | 6,3 | **3.118** | 99% | 99 | |
| Climatizador CL-13 Impulsión (PMC) | 3.150 | 0,14 | 6,4 | 4,3 | **2.128** | 68% | 35 | |
| Climatizador CL-13 Retorno (PMC) | 3.150 | 0,14 | 6,4 | 4,1 | **2.064** | 66% | 52 | |
| | | | | | | | | |
| Climatizador CL-4 Aula 001 (MDIF) | 4.740 | | | | **4.204** | 89% | | |
| | | | | | | | | |

PMC – Punto de medida en conducto en cubierta
PMA – Punto de medida en conducto en aula
MDIF – Punto de medida realizado con campana HOOD en difusores de aulas

Auditoría Funcional

# RESULTADOS DEL ANÁLISIS

- **Climatizadores en marcha de forma continua**

  Al no estar integrado el Software de Reserva de Aulas con el Sistema de Control, los climatizadores permanecen en marcha desde las 8 h hasta las 20 h, independientemente de la ocupación real de las mismas, con el consiguiente gasto energético. Sólo permanecen parados en días no lectivos.

- **Ruido elevado en aulas debido a la distribución de aire**

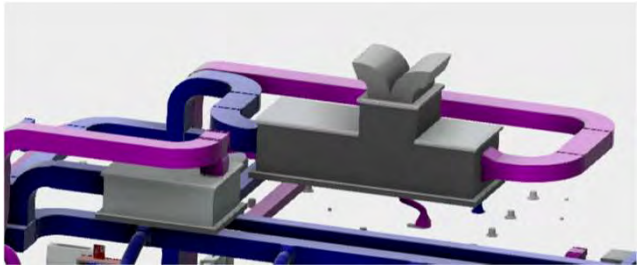
  Cuando los climatizadores están en funcionamiento se aprecia ruido de fondo en las aulas, provocado por el flujo de aire de impulsión y retorno. Este ruido es bastante apreciable, más localizado en las verticales de conducto y en algún que otro difusor.

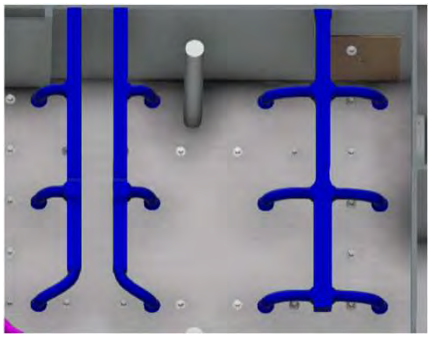
Implantación de Mejoras

# MEDIDAS DE MEJORA OPERATIVA (MMO)

## MMO 1 - Actualización de la documentación técnica de las instalaciones

- ✓ Creación de un Modelo Digital - BIM.
- ✓ Ubicación real de trazados de conductos / tuberías y equipos.
- ✓ Posibilidad de realizar simulaciones energéticas.
- ✓ Orientado a la gestión de activos (ISO 55001).
- ✓ Estado: en ejecución





Implantación de Mejoras

# MEDIDAS DE MEJORA OPERATIVA (MMO)

## MMO 2 – Cálculo de Cargas Térmicas

- ✓ Realizado cálculo de cargas con CYPE Ingenieros, IFC Builder y Cypetherm Loads.
- ✓ la demanda térmica señalada en proyecto es un **23%** mayor en calefacción y un **39%** en refrigeración que la demanda ahora calculada.
- ✓ Estado: realizado.

| | | FRIO | | CALOR | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | CARGAS(W) | CAUDAL(l/h) | CARGAS(W) | CAUDAL(l/h) |
| AULARIO | | | | | |
| | BAJA | 164.696,00 | 21.785,48 | 253.566,00 | 21.801,60 |
| | PRIMERA | 156.270,00 | 20.670,91 | 182.126,00 | 15.659,19 |
| | | **320.966,00** | **42.456,39** | **435.692,00** | **37.460,80** |
| LABORATORIO | | | | | |
| | SOTANO | 10.971,00 | 1.451,21 | 24.225,00 | 2.082,87 |
| | BAJA | 129.600,00 | 17.143,09 | 70.757,00 | 6.083,69 |
| | PRIMERA | 88.679,00 | 11.730,19 | 83.814,00 | 7.206,33 |
| | | **229.250,00** | **30.324,48** | **178.796,00** | **15.372,88** |
| | | **550.216,00** | **72.780,88** | **614.488,00** | **52.833,68** |

Implantación de Mejoras

# MEDIDAS DE MEJORA OPERATIVA (MMO)

## MMO 3 - Equilibrado hidráulico

- ✓ Con los cálculos de cargas se han redefinido los caudales de diseño.
- ✓ Planificado un nuevo equilibrado hidráulico.
- ✓ Estado: en proceso de contratación.

## MMO 4 - Mejora de la renovación de aire

- ✓ Realizado un proyecto para conducir las rejillas de retorno.
- ✓ Supondrá, en algunos casos, cambio de ventiladores de retorno.
- ✓ Realizándose en 3 aulas piloto.
- ✓ Estado: en ejecución.

Implantación de Mejoras

# MEDIDAS DE MEJORA OPERATIVA (MMO)

## MMO 5 – Cambio de filosofía en el control de los climatizadores

- ✓ Cambio del controlador existente (20 años de antigüedad) por uno nuevo que permite registrar históricos.
- ✓ Se añade una sonda de temperatura ambiente en el aula como referencia para la regulación.
- ✓ Nueva sonda de temperatura en impulsión para limitación.
- ✓ Contactos magnéticos en ventanas para parada en caso de apertura.
- ✓ Detector de presencia para funcionamiento en económico / confort.
- ✓ Curvas de compensación y ventilación nocturna
- ✓ Estado: realizado en el aula piloto 001. Sondas ambiente en todas.

Implantación de Mejoras

# MEDIDAS DE MEJORA OPERATIVA (MMO)

## MMO 5 - Cambio de filosofía en el control de los climatizadores

En definitiva, se ha pasado de un control básico a uno que considera todos los parámetros que influyen en el confort ambiental y en la optimización energética.

**ANTES**

**AHORA**

Implantación de Mejoras

# MEDIDAS DE MEJORA OPERATIVA (MMO)

## MMO 6 – Cambio de ubicación de las sondas de temperatura exterior

Se ha cambiado la ubicación de todas las sondas de temperatura exterior a una más adecuada, protegidas de la luz solar directa. Se comprueba la uniformidad de los valores medidos por todas ellas.

Estado: realizado

## MMO 7 – Estudio y ajuste de caudales de aire en climatizadores

Es necesario realizar un estudio para comprobar las causas del bajo caudal de aire en algunos climatizadores: trazados de conducto, estado de filtros de aire, etc.

Estado: pendiente de realizar hasta la finalización de los trabajos en los retornos.

## MMO 8 – Estudio acústico en aulas (sobre todo en planta 1ª)

# CONCLUSIONES

- ✓ La mayoría de los edificios existentes presentan deficiencias en el funcionamiento de sus instalaciones que provocan bajos niveles de confort y consumos energéticos elevados.

- ✓ El retrocommissioning es una actividad de bajo coste y alta rentabilidad que proporciona múltiples ventajas:

    - o Disponer de instalaciones más eficientes, fiables y seguras.
    - o Mejorar el confort de los usuarios y su productividad.
    - o Optimizar la explotación y mantenimiento del edificio.
    - o Mejorar los rendimientos de equipos principales.
    - o Extender la vida útil de los equipos.
    - o Mejorar la capacitación del personal de mantenimiento

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

# Caso práctico de aplicación del Retrocommissioning en un Aulario de la URJC

**Autor de la comunicación: Javier Orellana Sanz**

Dirección de Autor. Universidad Rey Juan Carlos – UNEFE C/ Tulipán S/N Móstoles. Email: javier.orellana@urjc.es

**Resumen:** Mediante el proyecto de Optimización Energética del Aulario 1 del Campus de Fuenlabrada, la Universidad Rey Juan Carlos quiere analizar las acciones más relevantes que permitan mejorar la calidad ambiental y los consumos energéticos. Para ello se realiza una auditoría energética y funcional que muestra que el Retrocommissioning es una actividad fundamental para la mejora energética de un edificio.

**Palabras clave:** retrocommissioning, commissioning, auditoria funcional, eficiencia energética.

## CONTEXTO

La Universidad Rey Juan Carlos (URJC) tiene un alto compromiso con el medio ambiente y con el bienestar ciudadano. La Unidad de Eficiencia Energética - UNEFE, tiene como propósito la mejora del desempeño energético de la URJC y de otras entidades públicas o privadas.

El patrimonio inmobiliario de la universidad es muy amplio y variado. Constituido por más de 50 edificios repartidos en 5 campus (Móstoles, Alcorcón, Fuenlabrada, Madrid y Aranjuez) y de muy diversa tipología: Aularios, Laboratorios, Bibliotecas, Departamentales, Oficinas, Comedores, Clínicas, Animalarios, Urbanizaciones, etc. En estos inmuebles conviven a diario cerca de 2.000 empleados y más de 48.000 alumnos.

Es importante señalar que la URJC fue la primera universidad pública en España en certificarse con la Norma ISO 50001 de Sistemas de Gestión Energética en 2014. Esto nos ha permitido implantar una metodología de mejora continua que ha proporcionado ahorros importantes.

## OBJETIVO

El objetivo principal era analizar el funcionamiento y las condiciones de confort de una tipología de edificio que se repite en el mundo de las universidades, el Aulario. Para ello, se decidió realizar un proyecto con empresas especialistas en ámbitos relacionados con las instalaciones (Veolia), con el retroccommissioning (Cellcomm Plus) y con los Sistemas de Control (SIEMENS), apoyados por alumnos de la URJC (realizando TFG/TFM) y una entidad certificadora como AENOR.

Este proyecto se centró en la aplicación de un proceso de retrocommissioning en un edificio aulario tipo con el fin de optimizar su funcionamiento y que sirviera a la universidad para extrapolar los resultados a otros edificios de su patrimonio inmobiliario. Este objetivo tiene varios ejes de actuación:

1. Demostrar que la Auditoría Energética debe complementarse con un Análisis Funcional, parte esencial de un proceso de Retrocommissioning, con el objetivo de solucionar las deficiencias de funcionamiento y mejorar la calidad de aire interior.
2. Este proyecto serviría como piloto para la verificación de la conformidad de un proceso de retrocommissioning.
3. Incorporación de alumnos de Grado de Ingeniería de la Energía y Master de Ingeniería Industrial.

Todo ello bajo el paraguas del Sistema de Gestión de la Energía.

## ELECCIÓN DEL EDIFICIO

El edificio más emblemático de una universidad es el Aulario – Laboratorio ya que en él se centra el negocio de esta, la docencia. De la observación y del análisis de la información existente (ratios de consumo, partes de incidencias con quejas relacionadas con el confort ambiental, etc) se decidió analizar en profundidad uno de los aularios, el Aulario-Laboratorio 1 del Camps de Fuenlabrada.

**Figura 1.** *Ubicación y fotografía del edificio Aulario-Laboratorio 1- Campus de Fuenlabrada.*

Datos del edificio:

- Superficie construida: 7.414 $m^2$
- Plantas sobre rasante: 2 + cubierta
- Plantas bajo rasante: 1
- Comunidad autónoma: Madrid
- Provincia: Madrid
- Localidad: Fuenlabrada
- Año de construcción: Finalización 30 de julio de 2001

El análisis se centra en los Sistemas de Climatización y Alumbrado, los dos grandes consumidores energéticos.

## METODOLOGÍA

La metodología aplicada en este proyecto ha seguido las directrices marcadas por Ashrae y la AEE en todo lo que se refiere al proceso de Retrocommissioning.

El Retrocommissioning o Commissioning en edificios existentes (EBCx – Existing Building Commissioning) es un proceso que consiste en investigar, analizar y optimizar el funcionamiento de las instalaciones de un edificio, buscando identificar e implementar actuaciones de bajo coste que aseguren el mantenimiento de rendimientos operativos y prolongue la vida útil del edificio.

Para el desarrollo del trabajo se han seguido las fases siguientes:

**Figura 2.** *Fases del Proceso de Retrocommissioning.*

**Planificación:** En esta fase se establecieron los objetivos del proyecto, cuáles eran los requisitos operativos actuales y las quejas o anomalías más habituales, se realizó una revisión de la documentación existente (proyecto, planos, informes de mantenimiento, etc) y se hizo una visita de inspección previa a la auditoría funcional.

**Auditoría Funcional:** Una vez realizada la planificación, comenzaron los trabajos de análisis funcional de la instalación objetivo del proyecto: el sistema de climatización. Se partió de un análisis de la documentación existente con el objeto de detectar los puntos problemáticos y las posibles mediciones a realizar. De igual forma se analizaron los consumos energéticos, para lo cual se partió de una auditoría energética realizada previamente. El siguiente paso fue observar el funcionamiento del sistema de climatización a través del BMS (Building Management System). Se realizó una inspección visual de las instalaciones, centrada sobre todo en trazado de conductos, verticales e instalaciones ubicadas en falsos techos. Y se finalizó con la medición por muestreo de caudales de aire / agua, presiones y temperaturas. Todo esto dio como resultado una selección de medidas de mejora operativas.

**Implantación de mejoras:** Se han procedido a implantar muchas de las medidas de mejora detectadas y están planificadas otras en los próximos meses para completar el plan de implementación.

**Entrega y seguimiento:** Una vez finalizada la fase de implantación de las mejoras, o parte de ellas, se realizará un Manual de Funcionamiento del Sistema de Climatización y un Curso de Formación a los técnicos de mantenimiento.

## RESULTADO DE LA FASE DE PLANIFICACIÓN

Se definió como objetivo principal del proyecto el análisis detallado del funcionamiento del Sistema de Climatización, ya que este es el mayor consumidor del edificio y el que proporciona el confort ambiental a los usuarios.

De las primeras visitas realizadas, se deduce que hay un problema grave en el confort ambiental ya que se observan habitualmente ventanas abiertas en condiciones exteriores extremas. En invierno, con 5ºC en el exterior, existe un porcentaje alto de ventanas abiertas en las aulas. Lo mismo pasa en verano, con temperatura exteriores de 35ºC.

La documentación existente, proyecto y planos de proyecto, no parecía reflejar la realidad de las instalaciones ejecutadas.

## RESULTADO DE LA FASE DE AUDITORÍA FUNCIONAL

El Sistema de Climatización del Edificio Aulario 1 está constituido por una subcentral de bombeo de agua caliente y fría (bombeo terciario) procedente de 2 centrales de producción (District Heating/Cooling) y una red de distribución que suministra la energía a los equipos secundarios o terminales formados por Climatizadores y Fancoils.

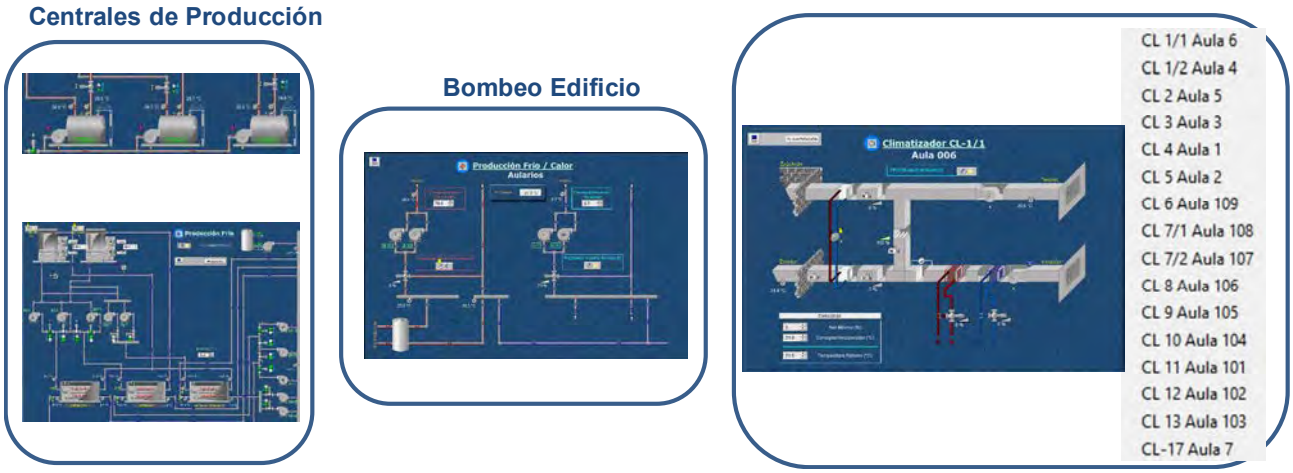



**Figura 3.** *Esquema de principio del Sistema de Climatización.*

A continuación, se muestra la información de referencia relativa al consumo energético total para el edificio, considerando tanto la estimación de demandas térmicas realizada (climatización), como los datos aportados por el analizador de redes eléctricas del edificio:

- Demanda térmica calculada (no existe medida directa): Calefacción = 849.370 kWh/año. Refrigeración = 219.291 kWh/año. Por tanto, el total de la demanda térmica en 2017 fue de 1.068.661 kWh/año.
- El consumo eléctrico total registrado en el año 2017 fue de 256.025 kWh/año.
- Con un coste total asociado a estos consumos de 75.000 €/año.

Este reparto resulta bastante desproporcionado en relación con el del Campus, cuyo reparto es prácticamente del 50% (Gas / Electricidad), por lo que resulta imprescindible analizar el sistema de climatización.

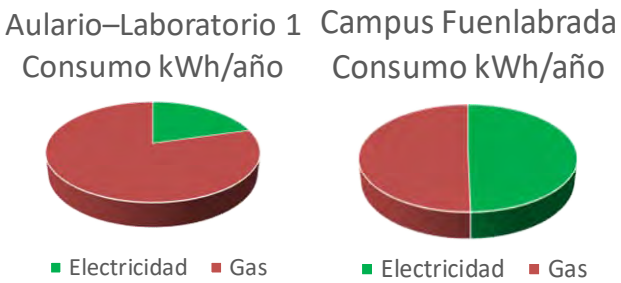



**Figura 4.** *Reparto consumos Aulario / Campus.*

A continuación, se presentan los resultados del análisis realizado:

1. **Los planos y documentación de proyecto no corresponden con la realidad**

   Los planos de instalaciones de climatización disponibles presentan muchas discrepancias con respecto a la realidad, tanto en situación de equipo como en trazado de conductos y tuberías de distribución de aire y agua. Se han tomado como referencia los caudales que aparecen en planos ya que en el proyecto de ejecución no se han encontrado. Estos caudales parecen, en algunos casos, elevados o discrepantes cuando se comparan aulas.

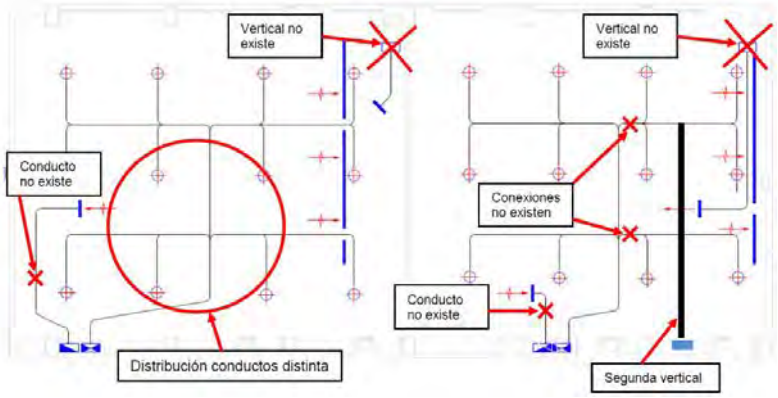



**Figura 5.** *Ejemplos de discrepancias entre realidad y planos.*

2. **Distribución de agua de climatización desequilibrada**

   Con el objeto de comprobar la situación del equilibrado hidráulico del sistema de distribución, se realizan las medidas directas sobre las válvulas existentes con los siguientes resultados:

**DISTRIBUCION DE AC : CIRCUITO AULARIO**
**Equilibrado Hidráulico**

| Descripción | | | | | TEST | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Referencia | Fabricante | Modelo | DN mm | $Q_{Diseño}$ l/h | Posición | Kv | ΔP Kpa | Q Test l/h | % | Observaciones |
| CL 1/1 Aula 006 | TA | STAD | 32 | 3.290 | 3.9 | 18.6 | 3.55 | 2.580 | 78,4 | |
| CL 1/2 Aula 004 | TA | STAD | 32 | 3.290 | 3.9 | 13.7 | 3,0 | 2.380 | 72,3 | |
| CL 2 Aula 005 | TA | STAD | 32 | 3.020 | 3.9 | 13.7 | 4,9 | 3.035 | 100,5 | |
| CL 3 Aula 003 | TA | STAD | 32 | 3.410 | 3.9 | 13.7 | 2,8 | 2.280 | 66,9 | |
| CL 4 Aula 001 | TA | STAD | 40 | 4.420 | 4.0 | 19.2 | 4,3 | 3.960 | 89,6 | Volante roto |
| CL 5 Aula 002 | TA | STAD | 40 | 4.530 | 3.9 | 18.6 | 6,7 | 4.810 | 106,2 | |
| CL 6 Aula 109 | TA | STAD | 25 | 1.530 | 3.9 | 8.59 | 3,8 | 1.675 | 109,5 | |
| CL 7/1 Aula 108 | TA | STAD | 25 | 1.435 | 3.9 | 8.59 | 4,1 | 1.740 | 121,3 | |
| CL 7/2 Aula 107 | TA | STAD | 25 | 1.435 | 3.9 | 8.59 | 6,9 | 2.250 | 156,8 | |
| CL 8 Aula 106 | TA | STAD | 25 | 1.500 | 3.9 | 8.59 | 5,8 | 2.070 | 138,0 | |
| CL 9 Aula 105 | TA | STAD | 32 | 2.000 | 3.9 | 13.7 | 3,6 | 2.580 | 129,0 | |
| CL 10 Aula 104 | TA | STAD | 32 | 2.000 | 3.9 | 13.7 | 4,4 | 2.855 | 142,8 | |
| CL 11 Aula 101 | TA | STAD | 32 | 2.250 | 3.9 | 13.7 | 2,1 | 1.995 | 88,7 | |
| CL 12 Aula 102 | TA | STAD | 32 | 2.780 | 4.0 | 14.2 | 2,3 | 2.135 | 76,8 | Volante roto |
| CL 13 Aula 103 | TA | STAD | 32 | 2.870 | 4.0 | 14.2 | 1,5 | 1.750 | 61,0 | Volante roto |
| CL 17 Salón Actos | TA | STAD | 40 | 6.383 | 3.9 | 18.6 | 38,4 | 11.525 | 180,6 | |
| | | | | | | | | | | |
| VE COMP. General | TA | STAF | 100 | 46.143 | 8.0 | 190 | 6,8 | 49.620 | 107,5 | |

**Tabla I.** *Resultados de las mediciones de caudal en baterías de calor de climatizadores.*

**DISTRIBUCION DE AEF : CIRCUITO AULARIO**
**Equilibrado Hidráulico**

| Descripción | | | | | TEST | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Referencia | Fabricante | Modelo | DN mm | $Q_{Diseño}$ l/h | Posición | Kv | ΔP Kpa | Q Test l/h | % | Observaciones |
| CL 1/1 Aula 006 | TA | STAD | 40 | 4.625 | 3.9 | 18.6 | 7,9 | 5.210 | 112,6 | |
| CL 1/2 Aula 004 | TA | STAD | 40 | 4.625 | 3.9 | 18.6 | 10,1 | 5.895 | 127,5 | |
| CL 2 Aula 005 | TA | STAD | 40 | 4.545 | 3.9 | 18.6 | 10,3 | 5.970 | 131,4 | |
| CL 3 Aula 003 | TA | STAD | 40 | 4.470 | 3.9 | 18.6 | 7,2 | 4.965 | 111,1 | |
| CL 4 Aula 001 | TA | STAD | 50 | 5.980 | 3.9 | 31.6 | 7,6 | 8.680 | 145,2 | |
| CL 5 Aula 002 | TA | STAD | 50 | 5.995 | 3.9 | 31.6 | 6,6 | 8.110 | 135,3 | Volante roto |
| CL 6 Aula 109 | TA | STAD | 32 | 2.595 | 3.9 | 13.7 | 6,2 | 3.420 | 131,8 | |
| CL 7/1 Aula 108 | TA | STAD | 32 | 2.505 | 3.9 | 13.7 | 9,7 | 4.260 | 170,1 | |
| CL 7/2 Aula 107 | TA | STAD | 32 | 2.505 | 3.9 | 13.9 | 5,9 | 3.335 | 133,1 | Volante roto |
| CL 8 Aula 106 | TA | STAD | 32 | 2.535 | 3.9 | 13.7 | 11,4 | 4.640 | 183,0 | |
| CL 9 Aula 105 | TA | STAD | 40 | 3.535 | 3.9 | 18.6 | 8.55 | 5.430 | 153,6 | |
| CL 10 Aula 104 | TA | STAD | 40 | 3.540 | 3.9 | 18.6 | 10,7 | 6.075 | 171,6 | |
| CL 11 Aula 101 | TA | STAD | 32 | 2.725 | 3.9 | 13.7 | 5,3 | 3.165 | 116,1 | |
| CL 12 Aula 102 | TA | STAD | 40 | 3.658 | 3.9 | 18.6 | 5,0 | 4.150 | 113,4 | |
| CL 13 Aula 103 | TA | STAD | 40 | 3.695 | 4.0 | 19.2 | 5,5 | 4.510 | 122,1 | |
| CL 17 Salón Actos | TA | STAD | 50 | 11.804 | 3.9 | 31.6 | 26,8 | 16.370 | 138,7 | |
| | | | | | | | | | | |
| VE COMP. General | TA | STAF | 125 | 69.337 | 8.0 | 300,0 | 11,0 | 94.185 | 135,8 | |

**Tabla II.** *Resultados de las mediciones de caudal en baterías de frio de climatizadores.*

Como se puede observar, los porcentajes de caudal de agua caliente con respecto a diseño varían entre el 61% de mínimo y el 180% de máximo. En el circuito de frío, estos porcentajes varían entre el 111% y el 183%. Los caudales de diseño han sido sacados de los planos existentes, coincidiendo el total con el caudal de placa de bombas.

Este desequilibrio de caudales de agua provoca rendimientos inadecuados en los climatizadores afectados, no funcionando de manera optimizada con el consiguiente gasto energético.

## 3. Cargas térmicas desproporcionadas

Como se ha comentado en el análisis de los consumos, la demanda de energía térmica es desproporcionada y no sigue los patrones de otros edificios (% gas / electricidad). A continuación, se presentan unas tablas que aportan información sobre ratios w/m2 por aula.

| Climatizador | Aula | Superficie | Caudal medido calor (l/h) | Pot caloríf media (ΔT=10º) | Ratio W/m² |
|---|---|---|---|---|---|
| CL 1/1 | Aula 006 | 148,30 m2 | 2.580 | 30,0 kWh | 202,3 |
| CL 1/2 | Aula 004 | 148,60 m2 | 2.380 | 27,7 kWh | 186,2 |
| CL 2 | Aula 005 | 148,75 m2 | 3.035 | 35,3 kWh | 237,2 |
| CL 3 | Aula 003 | 148,30 m2 | 2.280 | 26,5 kWh | 178,8 |
| CL 4 | Aula 001 | 162,95 m2 | 3.960 | 46,0 kWh | 282,6 |
| CL 5 | Aula 002 | 146,70 m2 | 4.810 | 55,9 kWh | 381,3 |
| CL 6 | Aula 109 | 92,60 m2 | 1.675 | 19,5 kWh | 210,3 |
| CL 7/1 | Aula 108 | 92,50 m2 | 1.740 | 20,2 kWh | 218,7 |
| CL 7/2 | Aula 107 | 92,20 m2 | 2.250 | 26,2 kWh | 283,8 |
| CL 8 | Aula 106 | 92,50 m2 | 2.070 | 24,1 kWh | 260,2 |
| CL 9 | Aula 105 | 92,50 m2 | 2.580 | 30,0 kWh | 324,3 |
| CL 10 | Aula 104 | 93,90 m2 | 2.855 | 33,2 kWh | 353,5 |
| CL 11 | Aula 101 | 90,95 m2 | 1.995 | 23,2 kWh | 255,1 |
| CL 12 | Aula 102 | 126,70 m2 | 2.135 | 24,8 kWh | 195,9 |
| CL 13 | Aula 103 | 114,80 m2 | 1.750 | 20,3 kWh | 177,3 |
| CL 17 | Salón Actos | 308,00 m2 | 11.525 | 134,0 kWh | 435,1 |
| | | **TOTAL** | **49.620** | | |

| | Normal | Elevado | Muy elevado |
|---|---|---|---|
| Calefacción aulas (W/m2) | 150-195 | 195-255 | > 255 |
| Calefacción Salón Actos(W/m2) | 250-325 | 325-425 | > 425 |

| Climatizador | Aula | Superficie | Caudal medido frío (l/h) | Pot frigorif media (ΔT=6,5º) | Ratio W/m² |
|---|---|---|---|---|---|
| CL 1/1 | Aula 006 | 148,30 m2 | 5.210 | 39,4 kWh | 265,5 |
| CL 1/2 | Aula 004 | 148,60 m2 | 5.895 | 44,6 kWh | 299,8 |
| CL 2 | Aula 005 | 148,75 m2 | 5.970 | 45,1 kWh | 303,3 |
| CL 3 | Aula 003 | 148,30 m2 | 4.965 | 37,5 kWh | 253,0 |
| CL 4 | Aula 001 | 162,95 m2 | 8.680 | 65,6 kWh | 402,6 |
| CL 5 | Aula 002 | 146,70 m2 | 8.110 | 61,3 kWh | 417,8 |
| CL 6 | Aula 109 | 92,60 m2 | 3.420 | 25,8 kWh | 279,1 |
| CL 7/1 | Aula 108 | 92,50 m2 | 4.260 | 32,2 kWh | 348,1 |
| CL 7/2 | Aula 107 | 92,20 m2 | 3.335 | 25,2 kWh | 273,4 |
| CL 8 | Aula 106 | 92,50 m2 | 4.640 | 35,1 kWh | 379,1 |
| CL 9 | Aula 105 | 92,50 m2 | 5.430 | 41,0 kWh | 443,7 |
| CL 10 | Aula 104 | 93,90 m2 | 6.075 | 45,9 kWh | 489,0 |
| CL 11 | Aula 101 | 90,95 m2 | 3.165 | 23,9 kWh | 263,0 |
| CL 12 | Aula 102 | 126,70 m2 | 4.150 | 31,4 kWh | 247,6 |
| CL 13 | Aula 103 | 114,80 m2 | 4.510 | 34,1 kWh | 296,9 |
| CL 17 | Salón Actos | 308,00 m2 | 16.370 | 123,7 kWh | 401,7 |
| | | **TOTAL** | **94.185** | | |

| | Normal | Elevado | Muy elevado |
|---|---|---|---|
| Refrigeración aulas (W/m2) | 230-299 | 299-391 | >391 |
| Refrigeración Salón Actos (W/m2) | 250-325 | 325-425 | >425 |

**Tabla III.** *Tabla de cargas térmicas. Ratios w/m2*

Se observan valores muy por encima de lo que se considera normal, por lo que se constata la necesidad de la realización de un estudio de cargas térmicas con el fin de verificar si los caudales de diseño son correctos o no.

## 4. Fugas de aire entre conducto interior y exterior

Al practicar los puntos de medida en los conductos de chapa de la cubierta, se pudo ver que hay fugas de aire entre el conducto interior y el exterior. Por el tipo de mecanizado de este tipo de conducto, al conducto interior por el que circula el aire, no se puede acceder desde el exterior lo que dificulta la realización de un sellado longitudinal de las uniones.

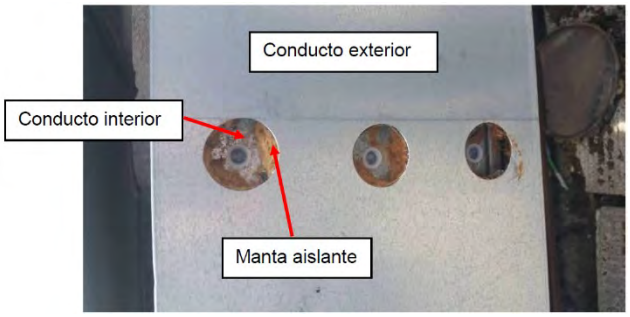



**Figura 6.** Conductos en cubierta.

La manta térmica aislante, que hay entre el conducto interior y exterior, en cierto modo ayuda al sellado de las uniones longitudinales de los conductos interiores, pues está pegada a ambos conductos (interior y exterior), sin embargo, el deterioro apreciado de la misma por el paso del tiempo conlleva un defecto de sellado interior.

Todo esto provoca infiltraciones de aire exterior en la sección de retorno.

## 5. Falta de renovación de aire

El retorno – extracción de aire en aulas se realiza por plenum. Esto quiere decir que las rejillas de retorno dispuestas en falso techo no están conducidas y es el plenum el que se comporta como un gran conducto. Para que esto funcione, debe existir una estanqueidad en el falso techo para provocar que el aire circule del ambiente al falso techo y desde aquí al retorno del climatizador.

En los falsos techos de las aulas se han detectado defectos de sellado en la tabiquería al paso de bandejas eléctricas, tuberías y verticales de conductos. Esto provoca que los falsos techos de aulas contiguas estén comunicados y, por tanto, los climatizadores retornen el aire de zonas que no climatizan. Además, esta falta de estanqueidad conlleva que el caudal de extracción de las rejillas de retorno situadas en el falso techo sea muy bajo, lo que provoca una falta de renovación del aire y sobrepresión.

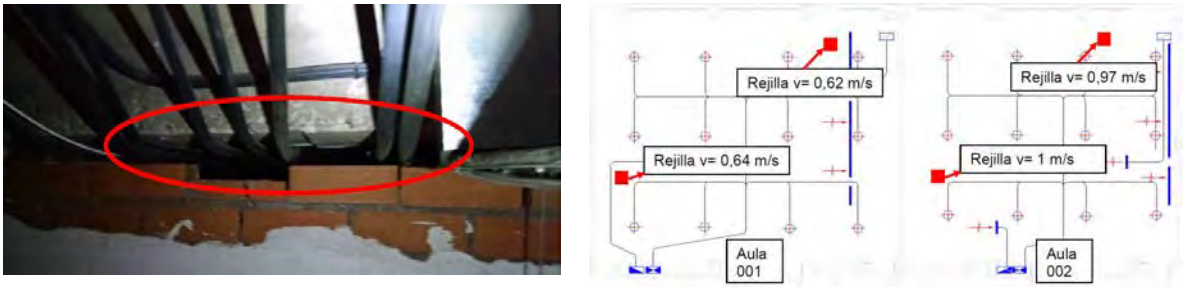



**Figura 7.** *Defectos de sellado en tabiquería. Perfiles de velocidad de aire en rejillas de retorno.*

## 6. Gran diferencia entre temperatura medida en retorno y ambiente

Los climatizadores regulan la temperatura del aula de acuerdo al valor medido por una sonda de temperatura instalada en el conducto de retorno (en cubierta). Esta sonda maneja la apertura y cierre de las válvulas de calor y frío del climatizador, así como la sección de compuertas de free-cooling.

**Figura 8.** *Gráfico del BMS. Regulación basada en la temperatura de retorno.*

Del registro realizado con termómetros calibrados midiendo en conductos de retorno y en ambiente de la misma aula, se puede concluir que existen diferencias importantes entre ambas, de hasta 3-4 ºC. Debido a esto, el climatizador sobrecalienta o subenfría el ambiente con la consiguiente reducción del confort para los ocupantes. Cuanto más extrema es la temperatura exterior (5ºC ... 35ºC), más diferencia hay entre las dos temperaturas posiblemente causado por las infiltraciones de aire exterior y el deterioro del aislamiento.

Todo esto más la falta de extracción, son las razones fundamentales por la que es habitual ver ventanas abiertas en pleno invierno (sobrecalentamiento del ambiente) o en verano (subenfriamiento) con los climatizadores funcionando con la consiguiente pérdida energética y la gran cantidad de quejas por el bajo confort alcanzado.

## 7. Sondas de temperatura exterior mal ubicadas

Cada climatizador dispone de un sensor de temperatura de aire exterior en la toma de aire del climatizador. La colocación de este sensor es incorrecta pues, en casi todos los casos, tiene incidencia directa de los rayos del sol, con lo que se desvirtúa la referencia de aire exterior con la que se lleva a cabo la realización o no del free-cooling en los climatizadores.

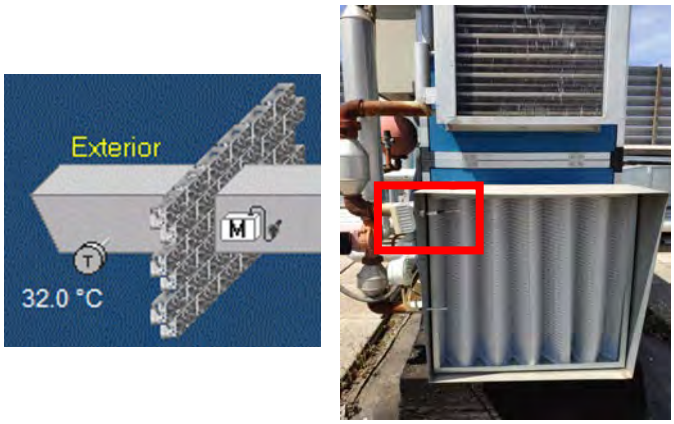



**Figura 9.** *Ubicación incorrecta de la sonda de temperatura exterior.*

Por otra parte, no parece muy lógico que, al estar todos los climatizadores ubicados en la misma cubierta, haya tantas sondas exteriores como climatizadores indicando cada una de ellas un valor distinto de temperatura exterior, cuando en realidad debería ser el mismo.

Una referencia inadecuada de temperatura de aire exterior penaliza la refrigeración gratuita y, por tanto, la eficiencia energética.

## 8. Caudales de aire medidos muy dispares

Se han realizado mediciones de caudal de aire en impulsión y retorno en 8 climatizadores que han dado resultados dispares. Algunos están dando caudales próximos a diseño (ente 93% y 108%), mientras que otros se quedan lejos de los valores de referencia (entre el 66% y el 69%).

Otro aspecto observado es la falta de criterio en cuanto a la relación caudal/superficie climatizada y ocupación.

| VALORES DE REFERENCIA - PROYECTO | | | | RESULTADOS (1) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Referencia | Caudal m³/h | A. Efectiva m² | Veloc. m/s | Veloc. m/s | Caudal m3/h | % | Pst Pa | RF |
| Climatizador 1/2 Impulsión (PMC) | 3.540 | 0,16 | 6,1 | 4,2 | 2.457 | 69% | 79 | |
| Climatizador 2 Retorno (PMC) | 3.420 | 0,16 | 5,9 | 3,9 | 2.305 | 67% | 34 | |
| Climatizador CL-5 Impulsión (PMA) | 4.680 | | | | 4.871 | 104% | | |
| Climatizador CL-9 Impulsión (PMA) | 3.640 | 0,15 | 7,1 | 6,6 | 3.564 | 93% | 57 | |
| Climatizador CL-9 Retorno (PMC) | 3.840 | 0,15 | 7,1 | 7,7 | 4.158 | 108% | 90 | |
| Climatizador CL-11 Impulsión (PMC) | 2.100 | 0,10 | 5,8 | 5,1 | 1.836 | 87% | 55 | |
| Climatizador CL-11 Retorno (PMC) | 2.100 | 0,10 | 5,8 | 4,0 | 1.440 | 69% | 39 | |
| Climatizador CL-12 Retorno (PMC) | 3.150 | 0,14 | 6,4 | 6,3 | 3.118 | 99% | 99 | |
| Climatizador CL-13 Impulsión (PMC) | 3.150 | 0,14 | 6,4 | 4,3 | 2.128 | 68% | 35 | |
| Climatizador CL-13 Retorno (PMC) | 3.150 | 0,14 | 6,4 | 4,1 | 2.064 | 66% | 52 | |
| | | | | | | | | |
| Climatizador CL-4 Aula 001 (MDIF) | 4.740 | | | | 4.204 | 89% | | |
| | | | | | | | | |

PMC – Punto de medida en conducto en cubierta
PMA – Punto de medida en conducto en aula
MDIF – Punto de medida realizado con campana HOOD en difusores de aulas

**Tabla IV.** *Caudales de aire medidos en climatizadores muestreados.*

## 9. Climatizadores en marcha de forma continua

Como se ha comentado anteriormente, cada aula es climatizada por una unidad de tratamiento de aire. Al no estar integrado el Software de Reserva de Aulas con el Sistema de Control, los climatizadores permanecen en marcha desde las 8 h hasta las 20 h, independientemente de la ocupación real de las mismas, con el consiguiente gasto energético. Sólo permanecen parados en días no lectivos.

Una de las grandes medidas de ahorro energético sería la integración de ambos softwares, combinado con un detector de presencia que permitiera pasar a modo confort el funcionamiento de la regulación, permaneciendo en modo preconfort (económico) cuando el aula estuviera vacía pero reservada.

## 10. Ruido elevado en aulas debido a la distribución de aire

Cuando los climatizadores están en funcionamiento se aprecia ruido de fondo en las aulas, provocado por el flujo de aire de impulsión y retorno. Este ruido es bastante apreciable, más localizado en las verticales de conducto y en algún que otro difusor.

La falta de instalación de silenciosos en los conductos de impulsión y retorno de los climatizadores y el hecho de que los conductos de las verticales sean de chapa, ocasiona, sobre todo en planta 1ª, que se transmita el ruido de motor del climatizador al ambiente del aula, con la consiguiente molestia acústica.

En este punto, hay que recordar que el aula es el espacio destinado a la formación de los alumnos y se requiere un nivel sonoro adecuado para que los docentes puedan ser escuchados con claridad, en torno a los 40 dB(A).

## MEDIDAS DE MEJORA OPERATIVA PROPUESTAS

Una vez analizados los resultados obtenidos en la fase de análisis funcional, se proponen las siguientes medidas de mejora relacionadas con la operación (MMO – Medida de Mejora Operativa) del Sistema de Climatización analizado.

1. **MMO 1 - Actualización de la documentación técnica de las instalaciones**

   Se ha procedido a realizar un modelo digital utilizando la metodología BIM con el trazado real de los conductos y el inventariado de los activos.

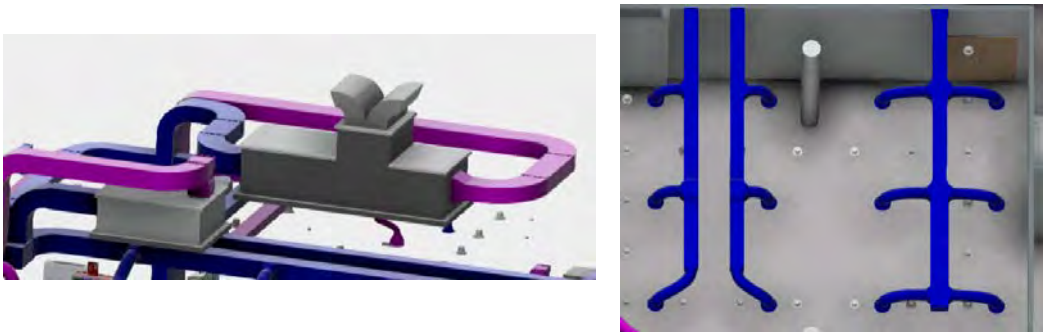


**Figura 10.** *Imágenes del Modelo BIM orientado a la explotación eficiente de los activos.*

   Estado: en ejecución.

2. **MMO2 - Cálculo de cargas térmicas**

   Como se ha visto anteriormente, los niveles de demanda térmica por metro cuadrado son muy altos. Por ello, se decide realizar un cálculo de cargas térmicas con distintos programas de CYPE Ingenieros, IFC Builder y Cypetherm Loads, dando como resultado:

| | FRIO | | CALOR | |
|---|---|---|---|---|
| | CARGAS(W) | CAUDAL(l/h) | CARGAS(W) | CAUDAL(l/h) |
| **AULARIO** | | | | |
| **BAJA** | 164.696,00 | 21.785,48 | 253.566,00 | 21.801,60 |
| **PRIMERA** | 156.270,00 | 20.670,91 | 182.126,00 | 15.659,19 |
| | **320.966,00** | **42.456,39** | **435.692,00** | **37.460,80** |
| **LABORATORIO** | | | | |
| **SOTANO** | 10.971,00 | 1.451,21 | 24.225,00 | 2.082,87 |
| **BAJA** | 129.600,00 | 17.143,09 | 70.757,00 | 6.083,69 |
| **PRIMERA** | 88.679,00 | 11.730,19 | 83.814,00 | 7.206,33 |
| | **229.250,00** | **30.324,48** | **178.796,00** | **15.372,88** |
| | **550.216,00** | **72.780,88** | **614.488,00** | **52.833,68** |

**Tabla V.** *Resultado del cálculo de cargas térmicas.*

   Esto supone que la demanda térmica señalada en proyecto es un 23% mayor en calefacción y un 39% en refrigeración que la demanda ahora calculada.

   Estado: realizado

## 3. MMO3 – Equilibrado Hidráulico

Una vez realizado el cálculo de cargas, se han redefinido los caudales de diseño por climatizador. Con estos datos, se ha planificado un nuevo equilibrado hidráulico para ajustar cada válvula TA a los nuevos caudales de diseño.

Estado: en proceso de contratación.

## 4. MMO4 – Mejora de la renovación de aire

Se ha realizo un proyecto para modificar la parte de extracción de los climatizadores consistente en la sustitución del retorno por plenum por uno conducido para así asegurar que se produce una renovación del aire del aula más adecuada. Esto supone cambiar los ventiladores de retorno de los climatizadores para aumentar la presión disponible que permita compensar la pérdida de carga adicional que supone dicha conducción.

En paralelo, se está estudiando la posibilidad de cierre de todos los huecos existentes entre aulas y pasillos para conseguir una mejor estanqueidad.

Todo esto se está realizando en una muestra de 3 aulas para estudiar los resultados reales y ver la viabilidad de acometerlo en el resto del edificio.

Estado: en ejecución.

## 5. MMO5 – Cambio de la filosofía de control del climatizador

Con el objetivo de solucionar los diversos problemas detectados en el funcionamiento del climatizador (sobrecalentamiento, subenfriamiento, climatizador en funcionamiento con ventanas abiertas o sin ocupación), se realizan las siguientes acciones en el sistema de control de una de las aulas que servirá de piloto:

- Se cambia el controlador existente por uno más moderno que permite registrar históricos de variables
- Se realiza una programación nueva que utiliza la sonda de temperatura ambiente como referencia para la regulación, quedando la de retorno como informativa.
- Se incorpora una sonda en impulsión para limitar el valor máximo de la temperatura del aire que se introduce en el aula.
- Se instalan contactos magnéticos de ventana para la parada del climatizador en caso de apertura.
- Se incorpora a la programación el tratamiento de la temperatura de confort / económico ligado a la ocupación/no ocupación (detector de presencia). Esta opción está ligada a la integración de los softwares de reserva de aulas y sistema de control de instalaciones.
- Inclusión de curvas de compensación por temperatura exterior y ventilación nocturna en verano

**Figura 11.** Nuevos e*lementos del Sistema de Control.*

En definitiva, se ha pasado de un control básico y obsoleto a uno que considera todos los parámetros que influyen en el confort ambiental y en la optimización energética.

Antes:

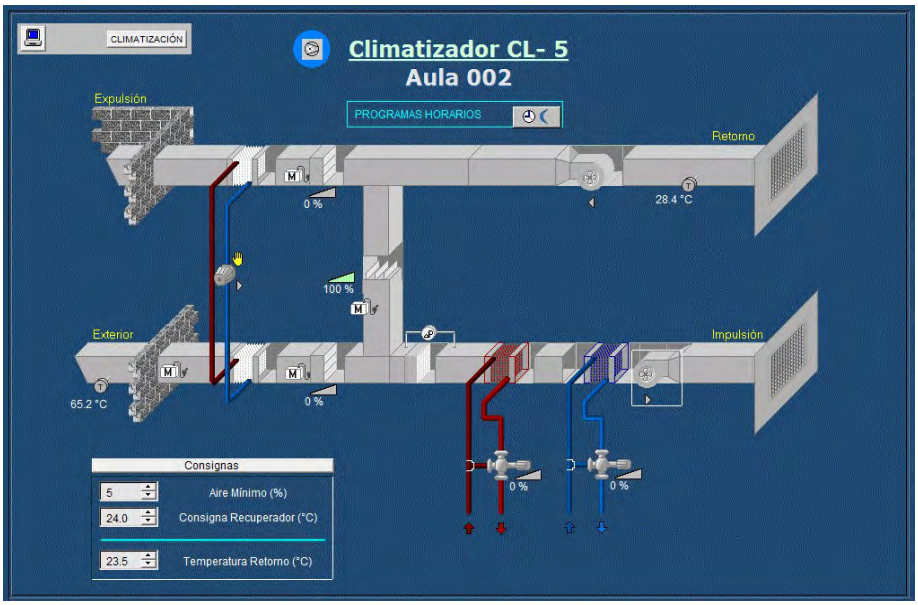



**Figura 12.** Sistema de Control existente hasta ahora.

Ahora:

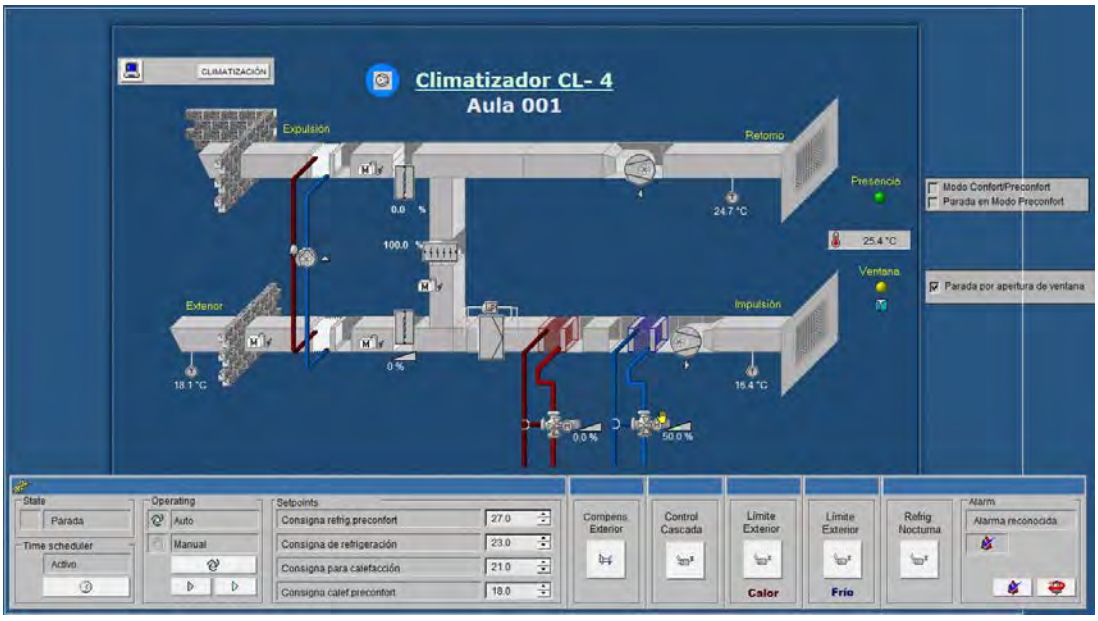



**Figura 13.** Nuevo Sistema de Control.

No se ha incluido una sonda para medir CO2 debido a la falta de señales libres en el controlador. En siguientes pasos se incluirá dicho sensor además de uno para medir la humedad relativa.

Actualmente se están haciendo pruebas de dispositivos IoT desarrollados por la universidad que miden todas las variables relacionadas con el confort ambiental: temperatura de bulbo seco, humedad relativa, CO2, temperatura operativa, presión barométrica.

Estado: realizado en el aula piloto (001). A la espera de aprobación de presupuesto para replicarlo en el resto de las aulas.

6. **MMO6 – Cambio ubicación de las sondas de temperatura exterior**

Se ha cambiado la ubicación de las 17 sondas de temperatura exterior a una más adecuada, protegidas de la luz solar directa. Tras este cambio, se ha comprobado la uniformidad de los valores medidos por todas ellas. Cuando se realice la migración del sistema de control existente por uno más moderno, se incluirá una central meteorológica que sirva de referencia para todos los equipos de climatización del campus.

Estado: realizado.

7. **MMO7 – Estudio y ajuste de caudales de aire en climatizadores**

De los caudales de aire medidos, se deduce la existencia de defectos de caudal en algunos climatizadores, así como la disparidad existente en los ratios de caudal por metro cuadrado de aire climatizado y ocupación máxima de aulas. Por ello, se recomienda realizar un estudio para comprobar las causas del bajo caudal de aire en algunos climatizadores, (CL-2, CL-11 y CL-13): trazados de conducto, estado de filtros de aire, estado de baterías, posibles obstrucciones en conductos o en difusores, revoluciones de ventiladores y motores, etc.

Se deberían realizar ajustes en los climatizadores para adecuar el caudal de aire al resultante del estudio de cargas térmicas.

Estado: pendiente de realizar en los climatizadores seleccionados para el estudio de retornos.

8. **MMO8 – Estudio acústico en aulas**

De la inspección realizada durante los trabajos de análisis funcional, se concluye que existen niveles sonoros elevados en algunas de las aulas del edificio, sobre todo las de la primera planta que se encuentran más cerca de los equipos de cubierta.

Se hace necesario realizar un estudio acústico de aquellas que presentan niveles más altos aportando soluciones (sellados, silenciadores, etc). Este trabajo debe realizarse una vez finalizados los trabajos de modificaciones de retornos y ajustes de caudales.

Estado: pendiente.

## CONCLUSIONES

De esta experiencia y de otros edificios analizados mediante el proceso de retrocommissioning, podemos sacar diversas conclusiones:

- La mayoría de los edificios existentes presentan deficiencias, que pueden llegar a ser graves, en el funcionamiento de sus instalaciones que provocan bajos niveles de confort y consumos energéticos muy elevados.

- El retrocommissioning es una actividad de bajo coste y alta rentabilidad que proporciona múltiples ventajas:

    - Disponer de instalaciones más eficientes, fiables y seguras.
    - Mejorar el confort de los usuarios y su productividad.
    - Optimizar la explotación y mantenimiento del edificio.
    - Mejorar los rendimientos de equipos principales.
    - Reducir costes de explotación.
    - Extender la vida útil de los equipos.
    - Mejorar la capacitación del personal de mantenimiento

## 2. AGRADECIMIENTOS

Con el agradecimiento especial a las empresas y alumnos que han participado en el proyecto:

- CELLCOMM PLUS: Pablo Agustín Saiz Cantarero
- AENOR: Juan Manuel García Sánchez
- VEOLIA: Susana Marías y Nerea Cuesta
- SIEMENS: Fernando Ponce
- Alumnos realizando su TFG/TFM: Alicia Sebastián y Pablo Lantero

## 3. REFERENCIAS

Directriz Ashrae O-2013
California Commissioning Guide: Existing Building
CBCP Course - AEE

The Association of Energy Engineers

www.aeespain.org

15:50 - 17:50

**SESIÓN 6 Track B. MyV y COMISSIONING**

Modera: Rafael Poquet. **EMIN.ENERGY**

"Establecimiento y control de criterios que aseguren la calidad en los procesos de Commissioning" **Juan Manuel García Sánchez.** Gerente de Energía. **AENOR**

"Aplicación del Commissioning en las Certificaciones Sostenibles Leed" **Josep Masach.** CEO. **PROISOTEC ENGINYERIA**

"Mejora de la eficiencia de las plantas mediante sistema de monitorización TecOS-SOLCEP" **Francisco Javier González** Responsable Operaciones. **TECNATOM**

"Caso práctico de aplicación del retrocommissioning en un aulario de la Universidad Rey Juan Carlos" **Javier Orellana Sanz.** Gestor Energético Unefe **UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS (URJC)**

"IPMVP para calcular los ahorros, pero ¿puede haber 10% de diferencia en ahorro en Coste Evitado vs Ahorro Normalizado?" **María Cubillo Sagüés.** CEO. **SinCeO2 CONSULTORÍA ENERGÉTICA**

iENER'19

II Congreso Internacional de Ingeniería Energética

# IPMVP para calcular los ahorros, pero ¿puede haber 10% de diferencia en ahorro en Coste evitado vs Ahorro Normalizado?


María I. Cubillo Sagüés

micubillo@sinceo2.com


SinCeO2 Consultoría Energética

AEE The Association of Energy Engineers Spain Chapter

www.aeespain.org

# Índice


1 INTRODUCCIÓN: Opciones IPMVP

2 INTRODUCCIÓN: Ajustes y dos tipos de ahorro

3 CASO DE APLICACIÓN: Contexto

4 CASO DE APLICACIÓN: Ajuste No Rutinario

5 CASO DE APLICACIÓN: Cálculo de ahorro «Normalizado»

6 CASO DE APLICACIÓN: Campaña de medidas

7 RESULTADOS OBTENIDOS

# INTRODUCCIÓN: Opciones IPMVP

**Verificación aislada – Opción A o B**

- Mide únicamente el efecto de la mejora
- Los ahorros no se ven afectados por los cambios más allá del límite de medida
- Normalmente es necesario la instalación de un nuevo equipo de medida
- Los ajustes pueden ser simples

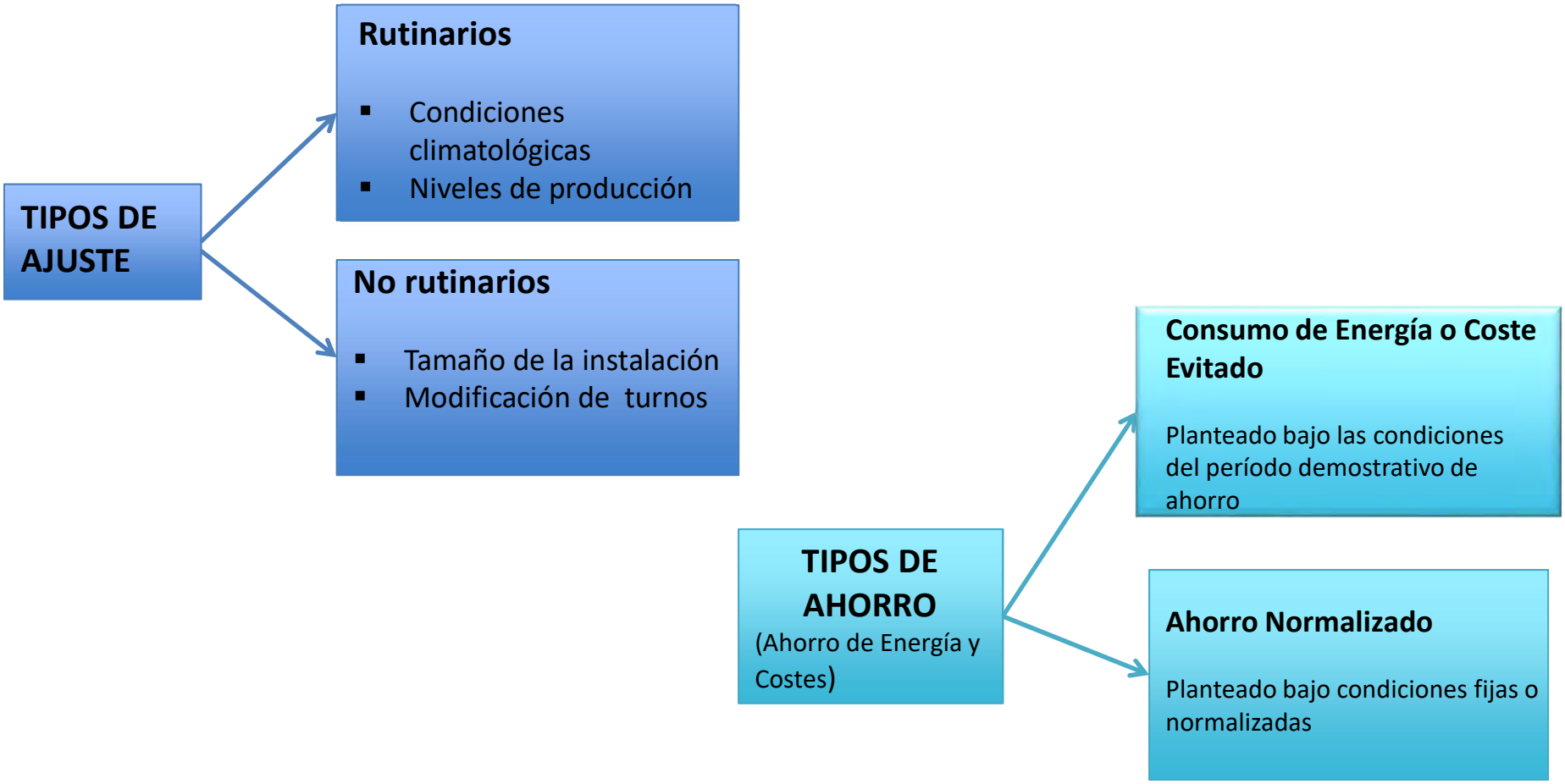
**Verificación de toda la instalación – Opción C o D**

- Mide todos los efectos de la instalación (los buscados y los no buscados)
- Suele utilizar los contadores de las empresas suministradoras (más económico)
- Los ajustes pueden ser complejos

Si se quiere evaluar una mejora en particular

Si se quiere gestionar el consumo total de energía

# INTRODUCCIÓN: Ajustes y dos tipos de ahorro



# CASO DE APLICACIÓN: CONTEXTO

**IMPLANTACIÓN DE MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO (MAEs)**

1. Sustitución de las calderas actuales por calderas de condensación.

2. Sustitución de radiadores por fancoils.

3. Optimización energética en iluminación exterior.

4. Instalación de detectores de presencia en zonas de paso.

**Cálculo de ahorros de forma anual durante 10 años: OPCIÓN C IPMVP y modelo de cálculo de ahorro de «Coste Evitado»**

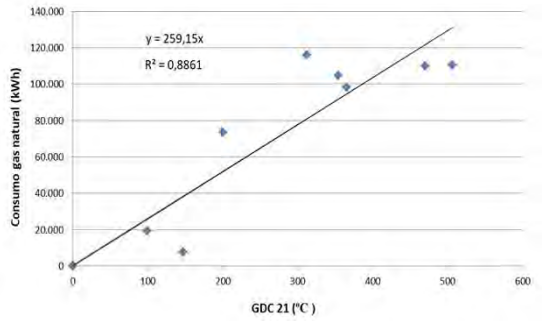
# CASO DE APLICACIÓN: CONTEXTO

Año 0 — Año 2 — Año 10

- Se mantienen las condiciones de O&M
- Línea base representativa
- Consumo esperado ≈ Consumo del periodo de referencia ajustado –ahorros

- Cambios en Gestión Global y operaciones
- Desviación de Línea base
- Consumo esperado ≠ Consumo periodo demostrativo

**El cliente retrasa el arranque de las calderas por la mayor eficiencia de los fancoils.**




*Consumo gas natural (kWh) = 259,15 * Grados día Calefacción*

El 2º año de contrato, ahorro cuantificado **> Ahorro esperado**

20% ahorro

# CASO DE APLICACIÓN: AJUSTE NO RUTINARIO

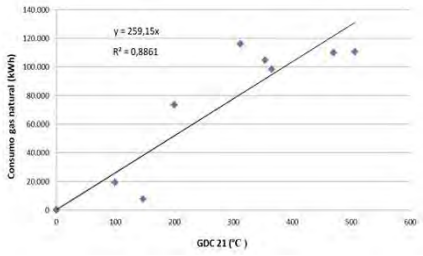
## El cliente decide recalcular el ahorro incluyendo un Ajuste de tipo No Rutinario

**Ajuste No Rutinario:** Debidos a parámetros que influyen en el consumo y que no se prevé que cambien en el tiempo. Ejemplo: **Horas de funcionamiento**

vs

Periodo de referencia, año 2016: **1.790 horas de funcionamiento**

Periodo demostrativo de ahorro, año 2018: **1.529 horas de funcionamiento**




*Consumo gas natural (kWh) = 259,15 * Grados día Calefacción*

*- **Ajuste-no-rutinario***

Ahorro cuantificado con **Ajuste No Rutinario y coste evitado**

**6% ahorro**

# CASO DE APLICACIÓN: AHORRO NORMALIZADO

**Ahorro Normalizado:** La energía del periodo demostrativo de ahorro y la de referencia se ajusta a partir de sus condiciones reales a un conjunto de seleccionado de condiciones fijas habituales

- **Grados día de calefacción Normalizados (IDAE)**
- **Horas de funcionamiento año 2016**

*Consumo gas natural periodo referencia Normalizado (kWh) = -8,87***GDC (ºC)**+367,57***Horas funcionamiento***

*Consumo gas periodo demostrativo Normalizado( kWh) = 68,43***GDC (ºC)** + 213,82***Horas funcionamiento***

Ahorro cuantificado con **calculo de Ahorro «Normalizado»** → 15% ahorro

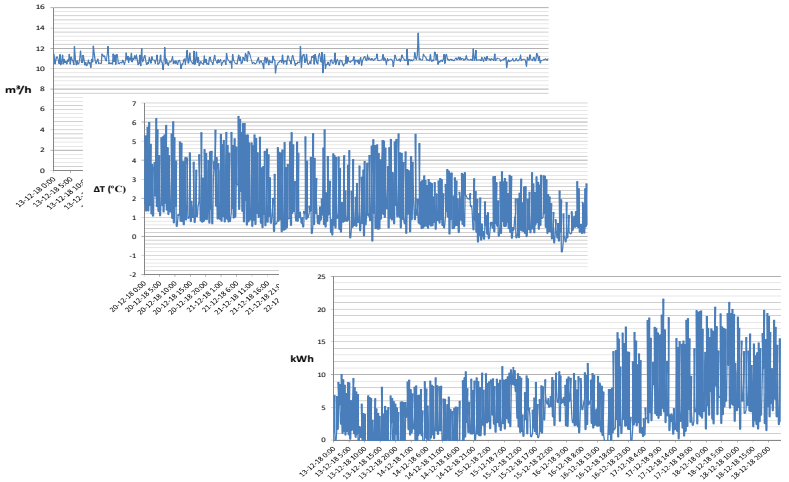
# CASO DE APLICACIÓN: CAMPAÑA DE MEDIDAS PARA CÁLCULO DEL RENDIMIENTO

**Implantación MAEs**

Caldera año de referencia (2016)

Caldera actual

Energía útil salida calderas= $Q * \Delta T * cp\ agua * t$



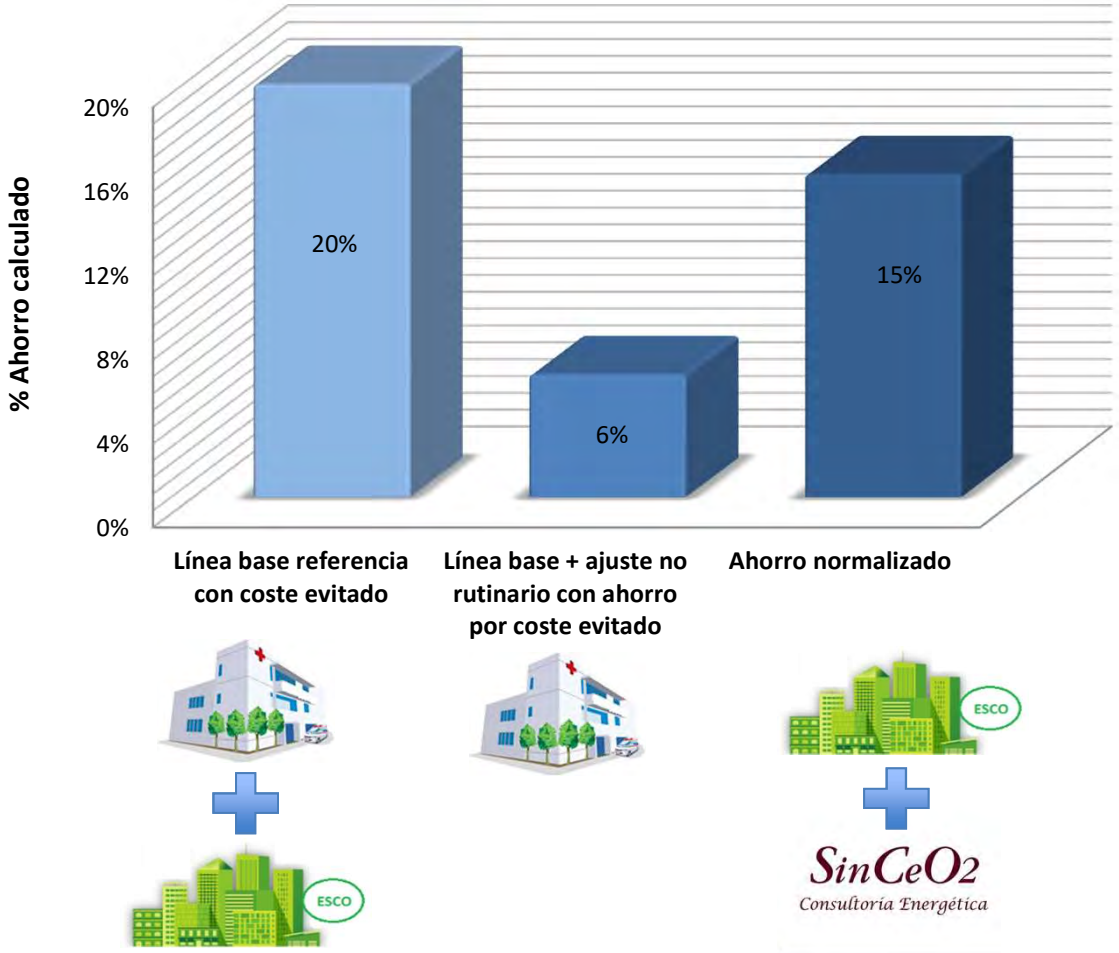

| Parámetros | Caldera 1 | Caldera 2 |
|---|---|---|
| Combustible | Gas natural | Gas natural |
| $O_2$ % | 6,7 | 7 |
| $CO_2$ % | 8,3 | |
| Exc. Aire λ | 1,5 | |
| Temp. Gas °C | 106 | |
| Temp. Aire °C | 13,8 | |
| Diferencia °C | 68,7 | |
| Eficiencia neta % | 91,7 | |
| Per. Neta % | 8,3 | |
| CO ppm | 206 | |

$$\text{Rendimiento calderas actuales} = \frac{\text{kWh Gas Natural (sobre PCS)}}{\text{kWh Energía útil a la salida de las calderas}}$$

**Rendimiento calderas año 2016: 82%**

**Rendimiento calderas actuales: 97%**

# RESULTADOS OBTENIDOS




Con el cálculo de ahorro según el método de **«Ahorro Normalizado»**:

- Se puede comparar directamente con el ahorro proyectado bajo las mismas condiciones fijas o elegidas.
- No le afectan las condiciones del periodo demostrativo de ahorro ya que se establecen unas condiciones fijas que no se vuelven a cambiar

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

María I. Cubillo Sagüés

micubillo@sinceo2.com
www.sinceo2.com

SinCeO2
Consultoría Energética

aee
The Association of Energy Engineers
Spain Chapter

# IPMVP para calcular los ahorros, pero ¿puede haber 10% de diferencia en ahorro en Coste evitado vs Ahorro Normalizado?

**Autor(es) de la comunicación: M.I. Cubillo[1], D. Gordaliza[2] y B.Condado[3]**

1 Dirección de Autor. C/ Arte 21, PL1 28033 Madrid. micubillo@sinceo2.com.
2 Dirección de Autor. C/ Arte 21, PL1 28033 Madrid. dgordaliza@sinceo2.com.
3 Dirección de Autor. C/ Arte 21, PL1 28033 Madrid. bcondado@sinceo2.com.

**Resumen:** En el caso de los proyectos de servicios energéticos, en los que hay un compromiso de ahorro energético, la definición de un plan de medida y verificación es una de las actividades de evaluación y seguimiento más importantes, siendo fundamental para la determinación de ahorros. Se presenta un caso de aplicación en el que en una residencia se ha llevado a cabo la implantación de una serie de mejoras de eficiencia energética bajo un contrato de servicios energéticos. La verificación de ahorros se realiza mediante una opción C de la metodología IPMVP y con un modelo de ahorro de "consumo de energía evitado". Esta verificación comienza a desviarse al segundo año de contrato debido a la implantación de nuevas acciones de mejora ajenas a la ESE, por lo que ésta plantea una revisión externa y un recalculo de los ahorros y la metodología, aplicando un modelo de ahorro normalizado.

**Palabras clave:** ESE, IPMVP, monitorización, verificación de ahorros.

## 1. TEXTO PRINCIPAL

## INTRODUCCIÓN

Los contratos de Servicios Energéticos vinculan a las Empresas de Servicios Energéticos (ESEs) con la administración pública, con las empresas, con las comunidades de propietarios, etc… haciendo posible que estos deleguen la gestión energética de sus instalaciones y vean así potenciadas sus inversiones y rendimientos basándose en los ahorros que se consiguen.

Según la directiva 2006/32/EC el concepto ESE se define como: "*Empresa de Servicios Energéticos: persona física o jurídica que proporciona servicios energéticos o de mejora de la eficiencia energética en las instalaciones o locales de un usuario y afronta cierto grado de riesgo económico al hacerlo. El pago de los servicios prestados se basará (en parte o totalmente) en la obtención de mejoras de la eficiencia energética y en el cumplimiento de los demás requisitos de rendimiento convenidos*."

En definitiva, las Empresas de Servicios Energéticos, o ESE, son organizaciones que ofrecen ahorro energético y ahorro económico a través de la implantación de medidas de mejora de la eficiencia energética.

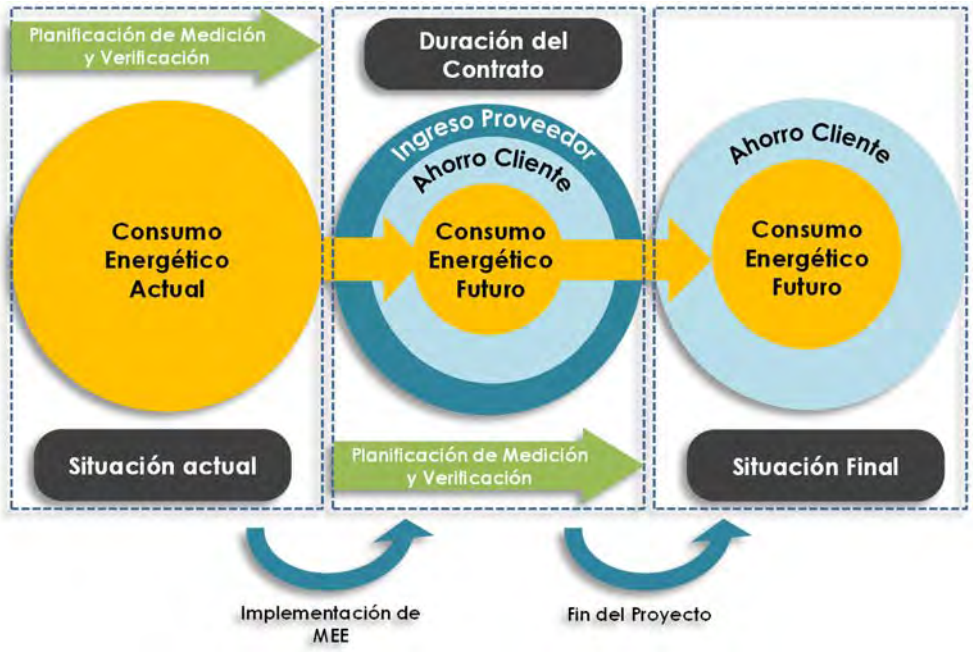



**Figura 1.** *Distribución clásica de los ahorros obtenidos en el modelo Contrato por Desempeño Energético con Ahorros compartidos.*

En los proyectos de servicios energéticos con garantía de ahorro, la ESE se compromete con el cliente a generar un ahorro energético. Para cuantificar el ahorro generado por las medidas implementadas por la ESE no basta con medir los consumos antes y después de la ejecución de las medidas, ya que elementos como la variación de las condiciones climatológicas, del número de usuarios del edificio, de los horarios de uso, de los equipos consumidores de energía, etc., influyen en la evolución del consumo del cliente.

Por este motivo, en los contratos con garantía de ahorros resulta imprescindible establecer un plan de medida y verificación (M&V) de ahorros. El objetivo de este plan de M&V consiste en diseñar la metodología que se aplicará para cuantificar con la mayor exactitud posible el impacto real de las medidas de ahorro y eficiencia energética en el consumo del cliente, aislándolo del impacto de los elementos externos mencionados anteriormente. Para esto también se deberá tomar en cuenta las modificaciones en el consumo con respecto al año base no atribuibles a las modificaciones introducidas por la ESE (modificación de los hábitos de consumo del cliente o modificación de las instalaciones).

A lo largo de la duración del proyecto, la ESE deberá establecer hitos de medición y verificación de los ahorros conseguidos por el proyecto. En estos hitos se deberá realizar un control y seguimiento continuo de los consumos energéticos del edificio y una identificación de los ahorros conseguidos por la implantación del mismo.

Es inevitable destacar la enorme importancia de la Auditoría en este proceso de Medida y Verificación de los ahorros. La auditoría va a marcar el resto del proceso, en base a la misma se va a desarrollar el proyecto de ingeniería con las propuestas de mejora de la eficiencia por un lado, y se va a hacer el cálculo de los ahorros que se pueden lograr por otro.

La Medida y Verificación está presente todo el proceso, forma parte de la auditoría y es importante tanto a la hora de plantear la financiación, como al final de todo el proyecto para medir los resultados. Por este motivo es imprescindible la estandarización de un modelo de M&V, que tenga en cuenta todos los parámetros, posibilidades y aspectos cambiantes de unas instalaciones. Lograr la mayor eficacia y transparencia en este punto, daría confianza tanto a las entidades financieras a la hora de entrar en un proyecto, como al usuario final o potencial cliente.

## MEDIDA Y VERIFICACIÓN

La metodología para la verificación y medición de los consumos es diseñada por la ESE, pero debe ser revisada en detalle en todo caso por el cliente. Esta metodología será la que establezca la forma de determinar si se han alcanzado los ahorros garantizados por la ESE. Para ello, el contratante y la ESE deberán contar con información detallada sobre los consumos históricos y características de la instalación objetivo, que permitan establecer una línea base de consumos a partir de la cual estimar los ahorros conseguidos. La adecuación y el entendimiento de la línea base y metodología de estimación de los ahorros por parte del contratante será una máxima prioridad.

A nivel internacional existen numerosas metodologías de medición y verificación de ahorros, las cuales han sido desarrolladas por diversos organismos. Una de las más utilizadas es el Protocolo Internacional de Medición y Verificación, desarrollado por varias instituciones organizadas por la Oficina de Eficiencia Energética y Energías Renovables del Departamento de Energía de EE.UU.

No obstante, dadas las particularidades de cada proyecto y la diferencia entre unas tecnologías y otras, será necesario diseñar un sistema de medición y verificación específico para cada proyecto.

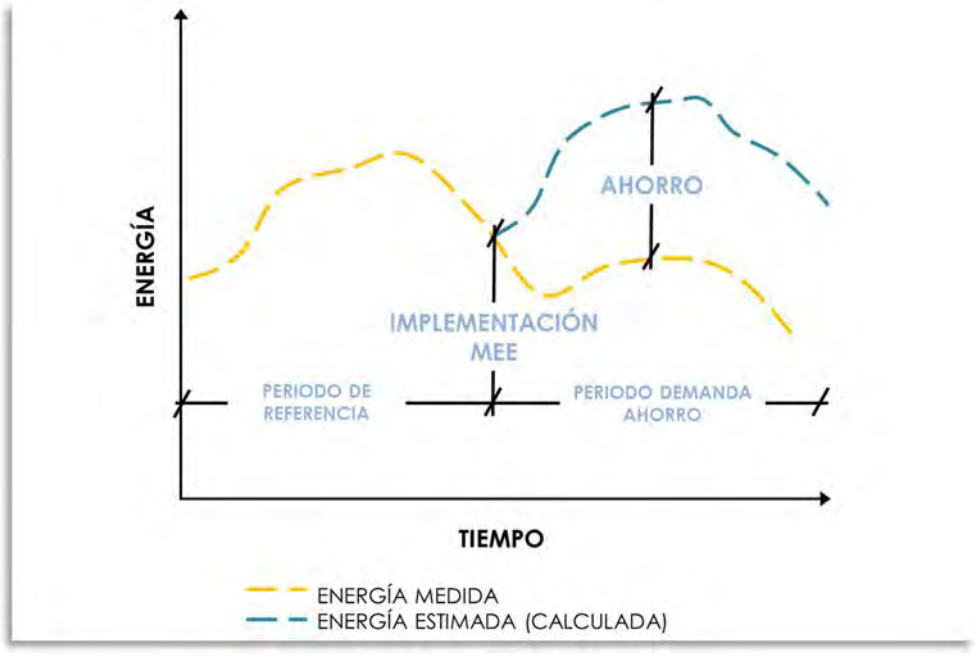



**Figura 2.** *Proceso de determinación del ahorro en un proyecto de Medida y Verificación*

## CASO DE APLICACIÓN

Se analiza el caso real de una residencia de ancianos, en la que una empresa de inversión tipo ESE ha llevado a cabo la implantación de distintas medidas de mejora de eficiencia energética para reducir los consumos energéticos.

Según el contrato, los ahorros generados por las medidas de ahorro energético, se calculan en base a un Plan de Medida y Verificación de Ahorros, basado en la opción C del IPMVP y con un modelo de cálculo de ahorro del tipo "coste evitado". De esta manera, se han calculado, de forma anual, los ahorros totales de cada uno de los suministros (electricidad y gas natural), sin que se pueda determinar el ahorro específico de cada una de las medidas.

En concreto, la mejora de eficiencia energética sobre la que se quiere aplicar el plan de Medida y Verificación, es la sustitución de las calderas de la residencia de ancianos por otras de mayor eficiencia. Se trata de dos calderas de la marca ADISA, modelo Dupley con una potencia térmica de 140 kW. Tienen rendimiento nominal del 90%. Además, se llevó a cabo la sustitución de los radiadores actuales por fancoils.

Durante la fase previa a la implantación de la mejora, tiempo denominado como "periodo de referencia" se recopilaron datos de consumo de gas natural en kWh, y se registraron los horarios de consigna del sistema de calefacción, número de habitaciones ocupadas y un registro de las temperaturas interiores de un muestreo de habitaciones y zonas comunes. Estos datos se corresponden con condiciones estáticas, con el objetivo de realizar posteriores ajustes del tipo no rutinarios.

**Tabla I.** Condiciones instalación previas a la implantación de las mejoras

| Fecha | Consumo gas natural Año referencia (kWh) | GDC 21 (ºC) | Horas funcionamiento caldera (h) |
|---|---|---|---|
| ene-16 | 110.438 | 506 | 310 |
| feb-16 | 104.789 | 354 | 290 |
| mar-16 | 115.890 | 312 | 310 |
| abr-16 | 73.467 | 200 | 200 |
| may-16 | 19.238 | 99 | 50 |
| jun-16 | 0 | 0 | 0 |
| jul-16 | 0 | 0 | 0 |
| ago-16 | 0 | 0 | 0 |
| sep-16 | 0 | 0 | 0 |
| oct-16 | 7.569 | 147 | 20 |
| nov-16 | 98.312 | 365 | 300 |
| dic-16 | 109.787 | 470 | 310 |

Para establecer la línea base, se realizó un cálculo de regresión lineal que relacionaba el consumo de gas natural con la variable climatológica, expresada en Grados-día de Calefacción en base 21.

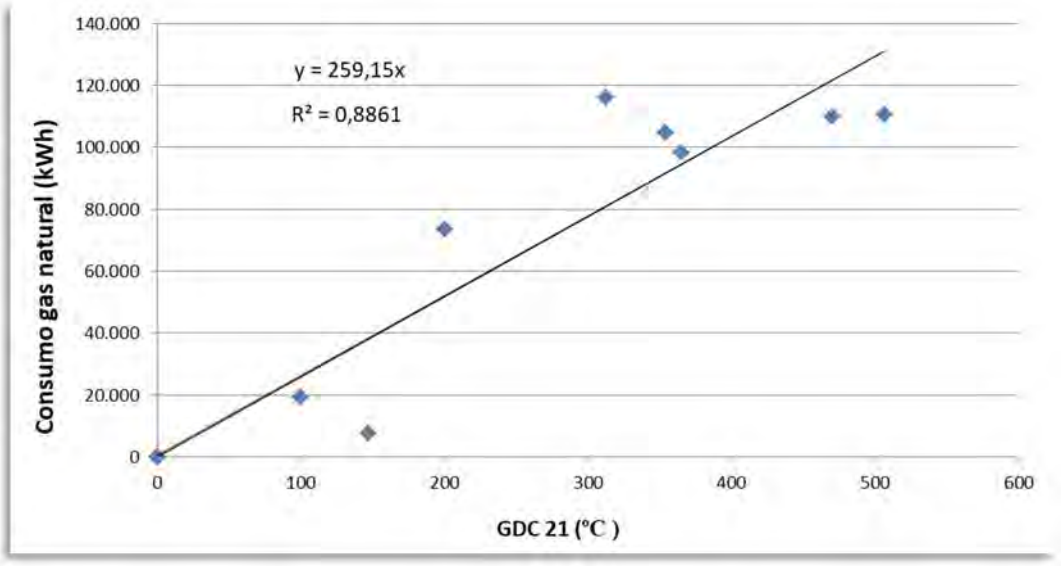



**Figura 3.** *Línea base calculada durante el periodo de referencia*

Consumo gas natural (kWh) = 259,15 * Grados día Calefacción [1]

Para simplificar los cálculos, las dos partes interesadas decidieron establecer un modelo de cálculo de ahorro en base a coste evitado. Dicho ahorro, se plantea bajo las condiciones del periodo demostrativo de ahorro, es decir, el periodo posterior a la implantación de las medidas de eficiencia energética.

De esta manera, durante el segundo año de contrato, se procede al cálculo de los ahorros, para ello se dispone de los grados día de calefacción, horarios de consigna del sistema de calefacción y la facturación de gas natural de dicho año.

**Tabla II.** Condiciones instalación periodo demostrativo de ahorro

| Fecha | Consumo gas natural Año 2018 facturación (kWh) | GDC 21 (ºC) | Horas de funcionamiento 2018 (h) |
|---|---|---|---|
| ene-18 | 84.523 | 506 | 264 |
| feb-18 | 78.123 | 354 | 247 |
| mar-18 | 82.564 | 312 | 264 |
| abr-18 | 54.890 | 200 | 170 |
| may-18 | 19.432 | 99 | 43 |
| jun-18 | 0 | 0 | 0 |
| jul-18 | 0 | 0 | 0 |
| ago-18 | 0 | 0 | 0 |
| sep-18 | 0 | 0 | 0 |
| oct-18 | 27.313 | 147 | 17 |
| nov-18 | 79.543 | 365 | 255 |
| dic-18 | 84.547 | 470 | 264 |

Con estos datos y la línea base calculada durante el periodo de referencia [Ec.1], se obtiene el siguiente ahorro:

**Tabla III.** Ahorro energético obtenido a partir de la línea base calculada durante el periodo de referencia

| Fecha | Consumo gas natural facturación (kWh) | Consumo de línea base ajustada (kWh) | Ahorro gas natural (kWh) | %Ahorro |
|---|---|---|---|---|
| ene-18 | 84.523 | 131.130 | 46.607 | 35,54% |
| feb-18 | 78.123 | 91.739 | 13.616 | 14,84% |
| mar-18 | 82.564 | 80.855 | -1.709 | -2,11% |
| abr-18 | 54.890 | 51.830 | -3.060 | -5,90% |
| may-18 | 19.432 | 25.656 | 6.224 | 24,26% |
| jun-18 | 0 | 0 | 0 | 0,00% |
| jul-18 | 0 | 0 | 0 | 0,00% |
| ago-18 | 0 | 0 | 0 | 0,00% |
| sep-18 | 0 | 0 | 0 | 0,00% |
| oct-18 | 27.313 | 38.095 | 10.782 | 28,30% |
| nov-18 | 79.543 | 94.590 | 15.047 | 15,91% |
| dic-18 | 84.547 | 121.801 | 37.254 | 30,59% |
| **TOTAL** | **510.935** | **635.695** | **124.760** | **19,63%** |

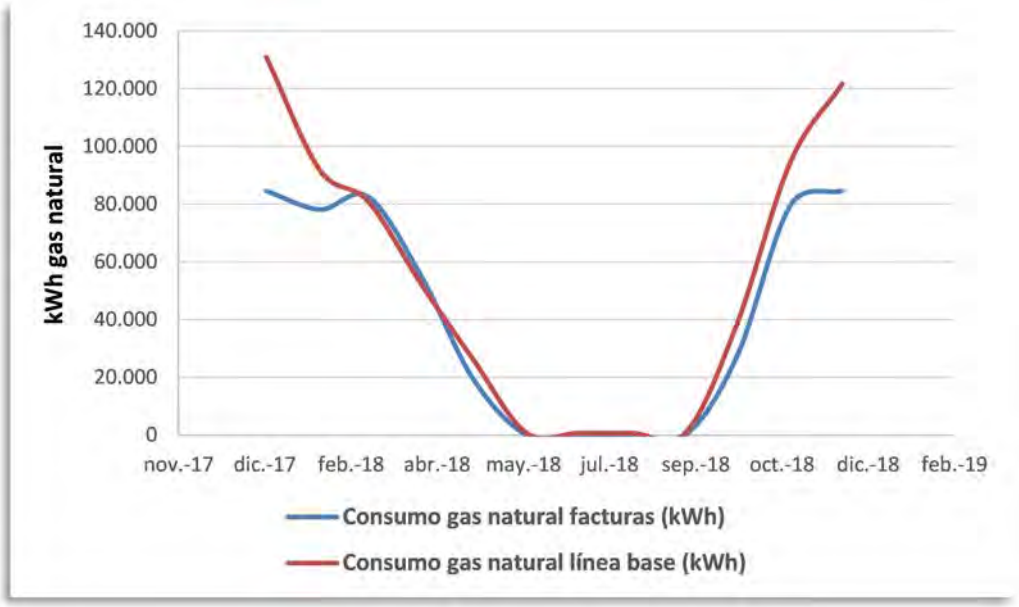



**Figura 4.** *Comparación consumo gas natural facturas vs consumo calculado a partir de la línea base*

El cliente, después del cálculo del ahorro durante el segundo año de contrato (19,63%) y tras percatarse que gran parte de ese ahorro se debe a que se ha estado retrasando el arranque del sistema de calefacción (con los fan-coil se consigue llegar a las condiciones de confort de forma más rápida), propone que se recalcule la línea base energética incluyendo un ajuste de tipo no rutinario en el que se tengan en cuenta las horas de funcionamiento previas y actuales.

Consumo gas natural (kWh) = 259,15 * Grados día Calefacción - **Ajuste-no-rutinario** [2]

El ajuste no rutinario se calcula como:

Consumo Gas Natural $_{P.REFERENCIA}$ x (Horas funcionamiento caldera $_{P.\ REF}$-Horas $_{P.DEMOSTRATIVO}$/ Horas funcionamiento caldera $_{P.\ REF}$) [3]

**Tabla IV.** Línea base con juste no rutinario y cálculo ahorro energético mediante método de "coste evitado"

| Fecha | Ajuste no rutinario (kWh) | Línea base con ajuste no-rutinario (kWh) | Ahorro (kWh) Coste evitado | %Ahorro |
|---|---|---|---|---|
| ene-18 | 16.566 | 114.564 | 30.041 | 26,22% |
| feb-18 | 15.718 | 76.021 | -2.102 | -2,77% |
| mar-18 | 17.384 | 63.471 | -19.093 | -30,08% |
| abr-18 | 11.020 | 40.810 | -14.080 | -34,50% |
| may-18 | 0 | 25.656 | 6.224 | 24,26% |
| jun-18 | 0 | 0 | 0 | 0,00% |
| jul-18 | 0 | 0 | 0 | 0,00% |
| ago-18 | 0 | 0 | 0 | 0,00% |
| sep-18 | 0 | 0 | 0 | 0,00% |
| oct-18 | 1.135 | 36.960 | 9.647 | 26,10% |
| nov-18 | 14.747 | 79.843 | 300 | 0,38% |
| dic-18 | 16.468 | 105.332 | 20.785 | 19,73% |
| **TOTAL** | **93.038** | **542.657** | **31.722** | **5,85%** |

En este momento, la ESE no está conforme con el ahorro calculado por el modelo de coste evitado (5,85%) ya que no se ha tenido en cuenta de forma correcta la modificación de horas de funcionamiento. Además, tal y como se indica en el Protocolo de Medida y Verificación, este ahorro calculado con este método no se puede comparar de forma directa con el ahorro proyectado bajo las condiciones de referencia.

Con todo ello se pone de manifiesto que en algunas situaciones la opción que en principio parece más indicada para medir y verificar ahorros, puede no adaptarse bien a las situaciones o variaciones que puedan darse en una instalación a lo largo del tiempo.

Por este motivo se decide contar con una tercera empresa independiente, SinCeO2 Consultoría Energética, que actúe de intermediaria, para que lleve a cabo un estudio de lo ocurrido en las instalaciones y establezca la mejor opción y la metodología para calcular los ahorros que se habrían generado de la implantación de las mejoras, de forma objetiva e imparcial.

En este caso, se propone el empleo del método de ahorro normalizado. Con este método, la energía del periodo demostrativo de ahorro (después de la implantación de las MEE), y la energía del periodo de referencia (previo a la MEE), se ajusta a partir de sus condiciones reales a un conjunto seleccionado de condiciones fijas habituales (o normales).

Por un lado, se ha establecido un modelo matemático de la energía de referencia (con las horas de funcionamiento de las calderas y los grados día de calefacción en base 21 de dicho año) para después ajustar la energía de referencia a las condiciones fijas elegidas. Del mismo modo, se desarrolla un modelo matemático que correlaciona la energía de periodo demostrativo de ahorro con las variables independientes de ese periodo. En este caso se obtienen las siguientes relaciones:

Consumo gas natural periodo referencia (kWh) = -8,87*GDC 21 (ºC)+367,57*Horas funcionamiento [3]

Consumo gas natural periodo demostrativo (kWh) = 68,43*GDC 21 (ºC) + 213,82*Horas funcionamiento [4]

Cómo condiciones fijas o "normalizadas" se utilizan las horas de funcionamiento de las calderas durante el periodo de referencia y los grados día de calefacción normalizados (Fuente: IDAE).

**Tabla V.** Cálculo ahorro energético mediante el método "ahorro normalizado"

| Fecha | Grados día Calefacción Normalizados (°C) | Horario funcionamiento calderas Normalizado (h) | Consumo Gas periodo de referencia (kWh) | Consumo Gas periodo de referencia (kWh) | Ahorro de energía normalizado (kWh) |
|---|---|---|---|---|---|
| ene-18 | 459 | 310 | 109.875 | 97.696 | 12.179 |
| feb-18 | 371 | 290 | 103.305 | 87.397 | 15.907 |
| mar-18 | 302 | 310 | 111.268 | 86.952 | 24.317 |
| abr-18 | 237 | 200 | 71.412 | 58.983 | 12.429 |
| may-18 | 139 | 50 | 17.145 | 20.203 | -3.058 |
| jun-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| jul-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ago-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| sep-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| oct-18 | 170 | 20 | 5.843 | 15.910 | -10.068 |
| nov-18 | 336 | 300 | 107.291 | 87.140 | 20.151 |
| dic-18 | 451 | 310 | 109.946 | 97.148 | 12.798 |
| **TOTAL** | | | | **551.431** | **84.654** |
| | | | | **15,35%** | |

Por otro lado, y a modo de verificación y comprobación del ahorro obtenido con el modelo de "ahorro normalizado", SinCeO2 realizó una campaña de medidas, para registrar el consumo de energía del sistema en el que se ha implementado la MMEE, y comprobar así, la mejora en el rendimiento con las nuevas calderas.

**Figura 5.** *Equipos de medida utilizados*

Para establecer el ahorro energético generado por la sustitución de las calderas, se realizó una campaña de medidas sobre los sistemas que afectan al consumo de las calderas:

- Se recopilaron datos de **consumo de energía** registrados por el **contador fiscal**, en unidades de volumen de gas natural.

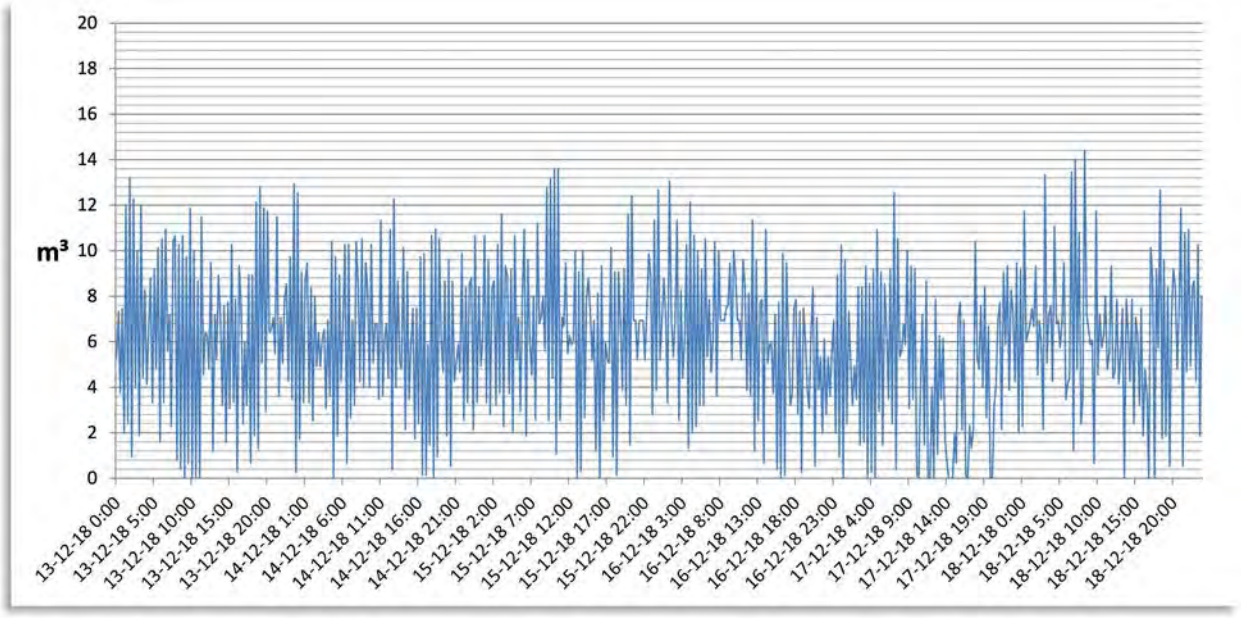



**Figura 6.** *Registro de los pulsos emitidos por el contador fiscal*

- Para medir el caudal total de agua que circula por la conducción de salida de las dos calderas, se instaló un **caudalímetro** no invasivo. A continuación, se muestra una gráfica con los datos registrados por el caudalímetro:

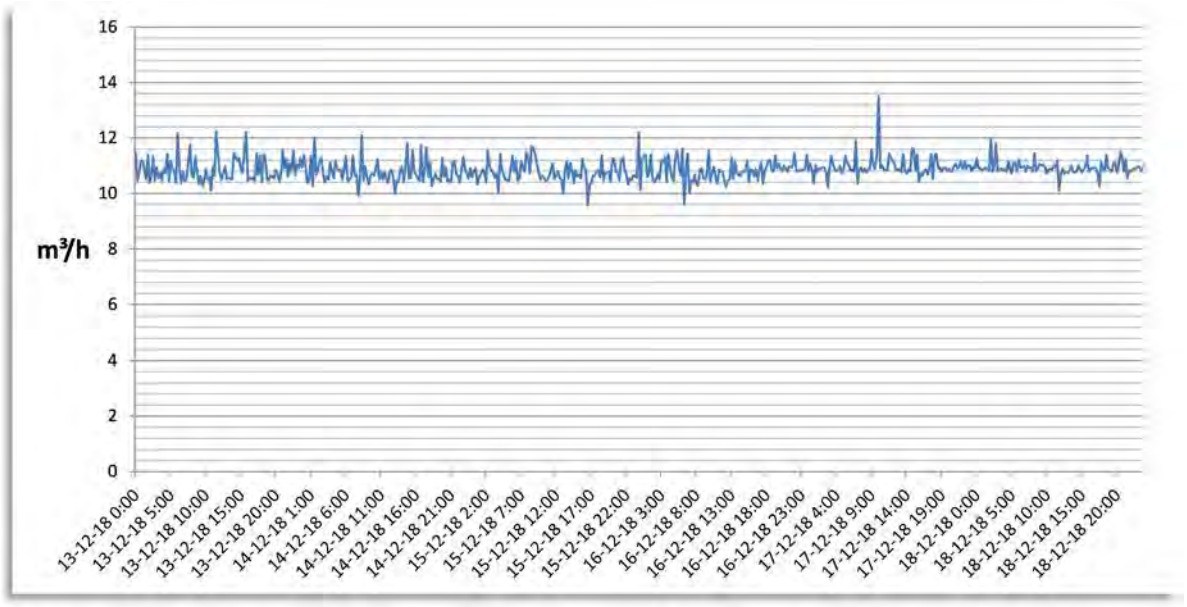



**Figura 7.** *Registro cuartohorario de caudal de agua caliente impulsado en la salida de las calderas durante el periodo demostrativo de ahorro*

- Se tomaron **medidas de temperatura por contacto** sobre los conductos de entrada y salida de las calderas, para calcular la energía que este sistema cede al agua del circuito de recuperación.

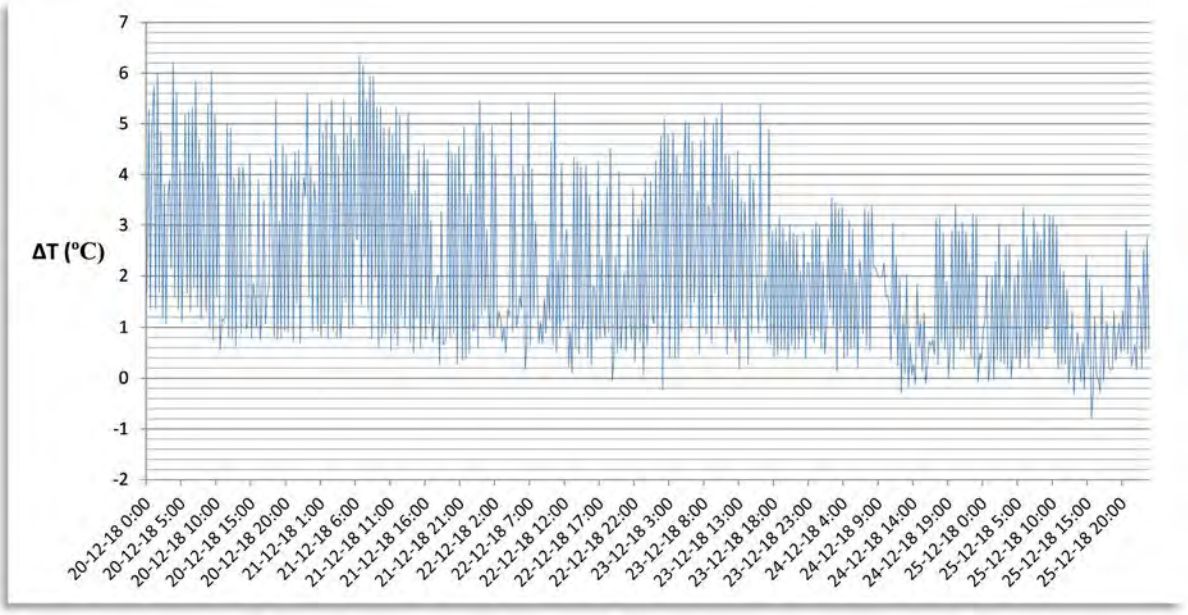



**Figura 8.** *Registro cuartohorario de la diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida de las calderas durante el periodo demostrativo de ahorro*

A partir de estos datos, la energía útil aportada por las dos calderas se calcula como:

$$E = Q * \Delta T * cp\ agua * \mathrm{t} \qquad [5]$$

Por otro lado, para calcular el rendimiento de la caldera:

$$\text{Rendimiento calderas actuales} = \frac{\text{kWh Gas Natural (sobre PCS)}}{\text{kWh Energía útil a la salida de las calderas}} \qquad [6]$$

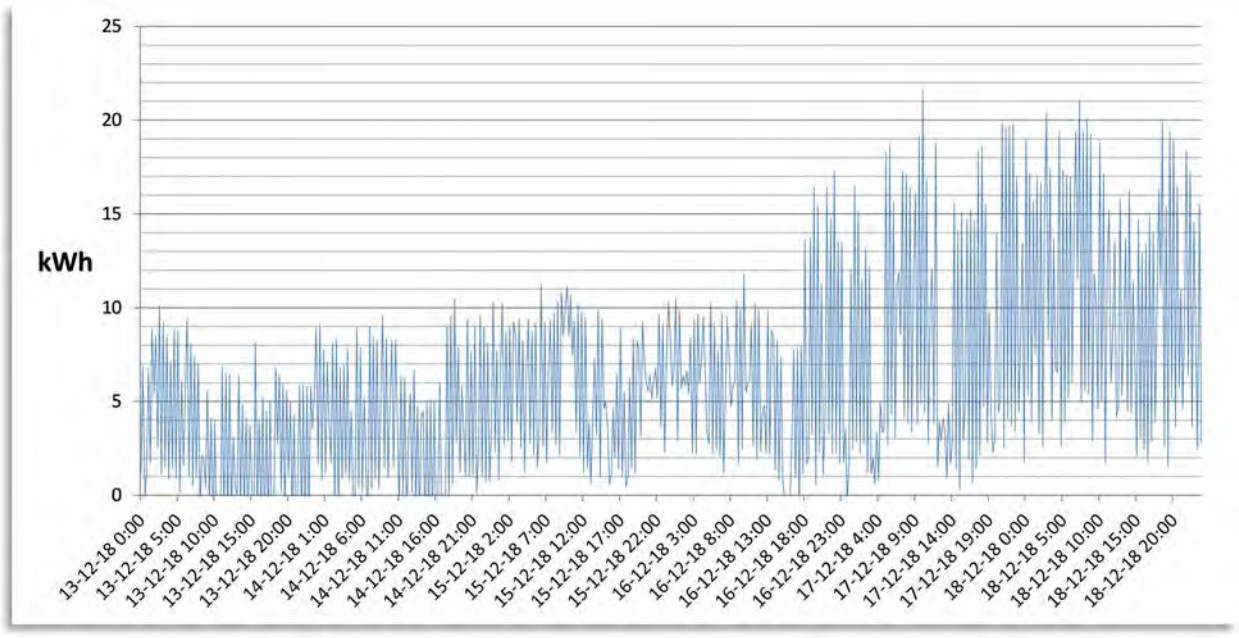



**Figura 9.** *Registro cuartohorario de la energía producida por las calderas durante el periodo demostrativo de ahorro*

**Tabla VI.** *Rendimiento de la instalación durante el periodo demostrativo de ahorro*

| Día | Energía térmica aportada por las calderas (kWh) | Consumo Nm³ gas natura | PCS | Consumo gas natural (kWh) | Rendimiento (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 19/12/2018 | 921 | 80 | 11,804 | 947 | **97,23%** |
| 20/12/2018 | 874 | 75 | 11,835 | 892 | **97,90%** |
| 21/12/2018 | 853 | 73 | 11,825 | 864 | **98,66%** |
| 22/12/2018 | 591 | 52 | 11,875 | 615 | **96,08%** |
| 23/12/2018 | 780 | 67 | 11,897 | 802 | **97,30%** |
| 24/12/2018 | 605 | 53 | 11,769 | 621 | **97,34%** |
| 25/12/2018 | 451 | 40 | 11,854 | 474 | **95,33%** |
| 26/12/2018 | 324 | 30 | 11,845 | 353 | **91,68%** |
| **TOTAL** | **5.398** | | | **5.568** | **96,95** |

Para calcular el rendimiento de las calderas antiguas, se han utilizado los registros a los que se ha tenido acceso, de los análisis de la combustión realizados a las calderas en su periodicidad establecida.

**Tabla VII.** Promedio medidas analizador de gases durante el periodo de referencia

| **Parámetros** | **Caldera 1** | **Caldera 2** |
|---|---|---|
| **Combustible** | Gas natural | Gas natural |
| **$O_2$ %** | 6,7 | 7,0 |
| **$CO_2$ %** | 8,3 | 7,9 |
| **Exc. Aire λ** | 1,5 | 1,50 |
| **Temp. Gas °C** | 106,0 | 103,3 |
| **Temp. Aire °C** | 13,8 | 13,8 |
| **Diferencia °C** | 68,7 | 54,8 |
| **Eficiencia neta %** | 91,7 | 92,1 |
| **Per. Neta %** | 8,3 | 7,9 |
| **CO ppm** | 206,0 | 257,0 |

A través de estos datos y según el "*Procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas*" del IDAE, se ha calculado la eficiencia de la combustión y, además, las pérdidas térmicas que se producen a través del cuerpo de las calderas para establecer el rendimiento total instantáneo de las mismas.

De esta manera se determina que el rendimiento estacional de la caldera 1 de la residencia y la caldera 2 es del 81,4% y del 82,1% respectivamente.

Con este cálculo y comparándolo con el rendimiento de las calderas nuevas del 97% queda patente que, efectivamente, parte del ahorro obtenido se debe al aumento en el rendimiento de las calderas.

## RESULTADOS OBTENIDOS

Este caso analizado pone de manifiesto la importancia de una correcta selección del tipo de ahorro a emplear.

Queda claro que la línea base calculada en el origen del contrato no se adaptaba bien a las condiciones, al no considerar la variable estática de las horas de funcionamiento de las calderas. Con este ajuste, el consumo de referencia se veía reducido y el ahorro achacable a las medidas implantas por la ESE se reducía y por tanto también se reducía su remuneración económica.

Tras realizar un ajuste de tipo no rutinario y al utilizar un modelo de ahorro normalizado, "se corrige" el ahorro obtenido, estando acorde con la mejora implantada en la instalación.

**Tabla VIII.** Ahorro calculado en función del método utilizado

| Tipo de ahorro calculado | kWh | % |
|---|---|---|
| Línea base referencia | 124.760 | **19,63%** |
| Línea base + ajuste rutinario con ahorro por coste evitado | 31.722 | **5,85%** |
| Ahorro normalizado | 84.654 | **15,35%** |

## 3. REFERENCIAS

DIRECTIVA 2006/32/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 5 de abril de 2006 sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos y por la que se deroga la Directiva 93/76/CEE del Consejo

EVO 10000-1:2010 (Es).: Protocolo Internacional de Medida y Verificación. Conceptos y Opciones para Determinar el Ahorro de Energía y Agua Volumen 1

iENER'19

II Congreso Ingeniería Energética

## Patrocinador Platino

nedgia
Grupo Naturgy

## Patrocinador Oro

Honeywell

## Patrocinadores Plata

acciona

FCC Industrial

IDS

## Patrocinadores Bronce

AENOR

AMPERE ENERGY

CARLO GAVAZZI

Janitza

ferrovial servicios

Genia global energy

Ibermática

SAMSON

Soltec