MARZO **2025**

www.a3e.es

Maximizando la Eficiencia Energética:

Una Guía sobre la flexibilidad de la demanda implícita

Participantes (por orden alfabético):

Julio Aparicio (Smarkia)
Rubén Bustamante (Carlo Gavazzi)
Antoni Company (Bamboo)
Álvaro Fuentes (Energy Pool)
Lucía Nieto (Azigrene)
Ricardo Rodríguez (Futuratech)

La redacción de esta esta guía ha sido posible gracias al esfuerzo y dedicación de los integrantes del Grupo de Trabajo de Flexibilidad de la Demanda, promovido por A3E durante el año 2024, y refleja el trabajo desarrollado y la experiencia acumulada por las empresas que participan en el mismo.

ÍNDICE

I. Resumen Ejecutivo ---- 03
II. Objetivo ---- 03
III. Introducción ---- 04
IV. Tipos de flexibilidad ---- 04
- 1. Flexibilidad implícita (detrás del contador)
- 2. Flexibilidad explícita (delante del contador)

V. Procesos Flexibles ---- 05
- 1. Procesos desplazables
- 2. Procesos diferibles
- 3. Procesos interrumpibles

VI. Contexto Regulatorio ---- 07
- 1. Directiva 2019/944
- 2. PNIEC 2023-2030
- 3. Proyecto de Real Decreto
- 4. Circular 1/2024

VII. Integración de la flexibilidad implícita ---- 09
- 1. Hardware
  - A. Monitorización energética
  - B. Control de activos
  - C. Integración
- 2. Software
  - A. Optimización y control energético
  - B. Panel de control

VIII. Casos de éxito de flexibilidad implícita ---- 14
- 1. Energy Pool – Caso de éxito en la industria agrícola
- 2. Bamboo Energy – Caso de éxito en la industria frutícola

IX. Conclusión ---- 18

I. Resumen Ejecutivo

Este documento inaugura una serie dedicada a la flexibilidad de la demanda, abordando en esta primera entrega la flexibilidad implícita, como una estrategia clave para reducir el coste de la energía consumida mediante el arbitraje de precios, maximizar el autoconsumo y/o reducir los picos de potencia demandada.

El informe detalla el marco legislativo aplicable, desde las estrategias europeas y nacionales (Directiva Europea y PNIEC) hasta las normativas operativas específicas (Real Decreto y Circular). Asimismo, se analizan las necesidades tecnológicas, destacando el papel del hardware (medidores de energía, *submetering*, sistemas de control, comunicaciones, etc.) y el software (integración de datos en tiempo real, predicción, optimización y control).

Finalmente, se presentan dos casos de éxito en los sectores agrícola y frutícola, donde se evidencian los beneficios concretos en términos de ahorro energético y mejora de la gestión.

En definitiva, la flexibilidad es un pilar fundamental para la transición energética. Gracias a la digitalización y la gestión de la demanda, facilita el cambio de sistemas de generación centralizada basados en combustibles fósiles hacia un modelo descentralizado, centrado en fuentes renovables y almacenamiento. Además, abre la puerta a la participación de nuevos actores en el mercado energético, fomentando un sistema más eficiente y sostenible.

II. Objetivo

Los objetivos de esta Guía son:

- Explicar la flexibilidad implícita de la demanda y sus beneficios.
- Divulgar las ventajas que ofrece y su necesidad.

Respecto al documento, se pretende que sirva de guía para el sector, de forma que se dé respuesta a los siguientes puntos:

- Tipos y funcionamiento de la flexibilidad de la demanda.
- Ventajas que ofrece.
- Contexto normativo.
- Requisitos técnicos necesarios para su implantación.
- Casos de éxito.

III. Introducción

La transición energética y la digitalización están transformando el sector energético, pasando de sistemas de generación centralizada, basados en combustibles fósiles y energía nuclear, a uno descentralizado, enfocado en fuentes renovables y almacenamiento. Esto ha creado un entorno complejo donde se mezclan agentes tradicionales, con otros nuevos como las comunidades energéticas o los agregadores independientes.

Hasta ahora, los consumidores tenían un papel "pasivo", limitándose a consumir energía, sin implicarse en su gestión. Sin embargo, con la aparición de los prosumidores y los mercados interconectados, se hace imprescindible adaptar la normativa existente a la nueva realidad, además de reorganizar los mercados para asegurar la integración de todos sus participantes.

La flexibilidad implícita está a disposición de absolutamente todos los consumidores de electricidad. Además, al adoptar medidas de flexibilidad implícita, consumimos de una manera más eficiente y ahorramos costes energéticos.

IV. Tipos de flexibilidad

Bajo este contexto, surge la flexibilidad del lado de la demanda, que según la asociación europea smartEn se define como "la capacidad de cualquier cliente activo de reaccionar a señales externas y ajustar su generación y consumo de energía de forma dinámica y dependiente del tiempo, tanto individualmente como a través de la agregación."

En definitiva, consiste en la posibilidad de modificar el consumo de energía respecto al patrón normal de funcionamiento a partir de una señal de precio externa. De esta forma, se conocen la flexibilidad implícita, la cual es objeto del presente documento, y la flexibilidad explícita.

1. Flexibilidad implícita (detrás del contador)

En la línea de dar a los consumidores la capacidad de modificar sus consumos en respuesta a una señal de precios, estos pueden decidir reducir el consumo de energía durante las horas del día en que los precios de la electricidad son más altos. Esto aplica a consumidores que cuentan con contratos a precio indexado o con diferentes períodos o coberturas de precio.

La importancia de la flexibilidad implícita es significativa, más aún en plena transición energética europea y con la transposición de directivas sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad. Esta flexibilidad se muestra como una alternativa eficaz y de rápida implementación, sin necesitar de elevadas inversiones para lograr grandes objetivos.

En primer lugar, la flexibilidad de la demanda, ya sea por cambios de las pautas de consumo, o por la instalación de sistemas automatizados, ayuda a maximizar la eficiencia energética. Adoptar prácticas de la flexibilidad implícita fomenta la proactividad y el conocimiento en la sociedad para consumir de una manera más inteligente; esto contribuye notablemente a limitar la energía generada por las tecnologías

más caras, sobre todo en los picos de demanda, favoreciendo una oferta de energía cada vez más competitiva.

Adicionalmente, la flexibilidad energética implícita maximiza la energía proveniente de fuentes renovables, cuya naturaleza es intermitente y variable, así como el autoconsumo, al poder trasladar el consumo eléctrico a las horas donde hay una mayor generación de energía renovable. Todo ello, favorece de manera significativa la consecución de los objetivos establecidos en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2023-2030, incrementando la penetración de renovables y reduciendo las emisiones de carbono a la atmósfera.

Por consiguiente, la flexibilidad implícita es una herramienta vital y de gran importancia para optimizar el uso de la energía y ahorrar costes energéticos a nivel de consumidor, demostrando ser una solución sólida, económica y fiable que da tanto robustez como resiliencia al sistema gracias al poder de adaptación de los consumidores.

2. Flexibilidad explícita (delante del contador)

En este caso la modificación de los consumos se debe a la presencia de incentivos económicos que compensen a los consumidores por sus acciones. Esto puede ser, por ejemplo, un precio definido por cada acción implementada, o un pago específico que depende del tamaño de la flexibilidad ofrecida. En el caso de España, estos incentivos están gestionados por el operador del sistema (Red Eléctrica de España) a través de los mercados de balance. La finalidad de estos mercados es mantener el equilibrio entre demanda y generación en todo momento.

A diferencia de la flexibilidad por parte de la generación, la flexibilidad de la demanda va estrechamente relacionada con la necesidad de recuperar la energía que se ha dejado de consumir en un momento dado en otro intervalo de tiempo. Este efecto de recuperación de la energía es lo que se conoce como efecto rebote.

Es por eso, según cómo afecta el efecto rebote a un proceso flexible y, en consecuencia, de cómo se pueda desplazar su consumo en el tiempo, se pueden distinguir tres tipos de flexibilidad según el proceso. Estos pueden ser desplazables, diferibles y/o interrumpibles.

1. Procesos desplazables

Estos procesos se caracterizan por su capacidad de moverse en el tiempo libremente sin afectar el confort del usuario. En este sentido, es relevante remarcar que el proceso no se puede desplazar infinitamente en el tiempo y en algún momento va a tener lugar el consumo.

Algunos ejemplos de procesos desplazables podrían ser algunos electrodomésticos como lavaplatos, lavadoras o secadoras, o activos energéticos como baterías o vehículos eléctricos.

La **flexibilidad de la demanda** va estrechamente relacionada con la necesidad de **recuperar la energía** que se ha dejado de consumir

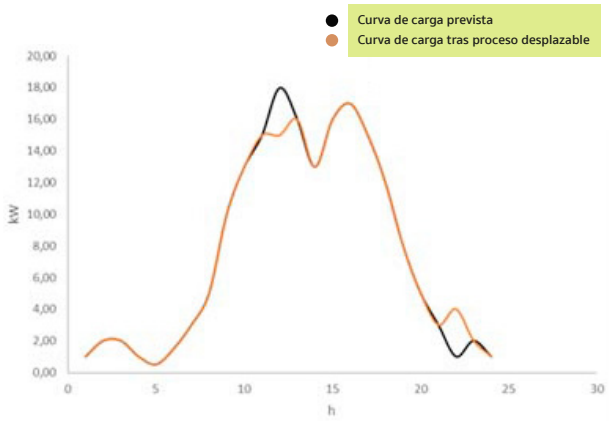

Figura 1. Curva de carga de un proceso desplazable

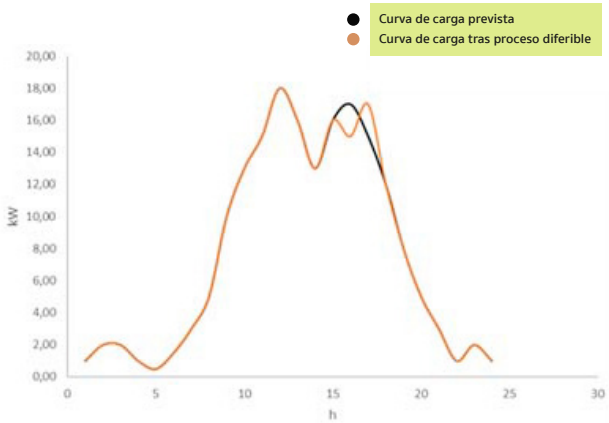

Figura 2. Curva de carga de un proceso diferible

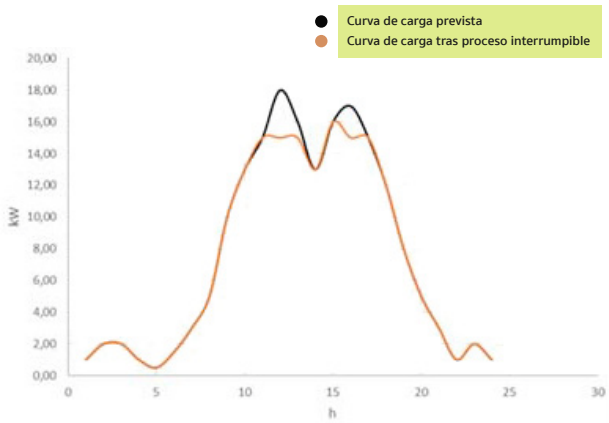

Figura 3. Curva de carga de un proceso interrumpible

2. Procesos diferibles

Los procesos diferibles son un subconjunto de los procesos desplazables. En este sentido, el rango de tiempo de desplazamiento es más limitado, ya que, estos procesos afectan directamente al confort de los usuarios. Por tanto, no tienen la capacidad de desplazarse a lo largo del tiempo y su recuperación es prácticamente inmediata.

Este tipo de flexibilidad va comúnmente ligada a procesos relacionados con el control de temperatura como sistemas de climatización (como el aire acondicionado), cámaras de frío (como neveras industriales), etc.

3. Procesos interrumpibles

Los procesos interrumpibles pueden cortar su consumo sin necesidad de recuperar la energía no utilizada. De este modo, estos procesos no presentan efecto rebote. Históricamente, los servicios de interrumpibilidad han sido la primera forma de flexibilidad de la demanda usada por los TSO para poder gestionar congestiones puntuales en horas de máximo consumo (p.ej. servicio interrumpibilidad y el SRAD).

Algunos ejemplos de procesos interrumpibles podrían ser las instalaciones fotovoltaicas (aunque no sean directamente un proceso de consumo, va muy ligado al mismo), la iluminación y algunos procesos industriales.

En un escenario tecnológico y geopolítico dinámico, tanto la Unión Europea como nuestro país se adaptan para llevar a cabo las políticas de índole energética que autoridades, empresas y ciudadanos han de seguir para cumplir con los objetivos medioambientales marcados y no perder competitividad o poder adquisitivo por ello. En este sentido, destacamos los siguientes cuatro documentos que marcan el camino a la flexibilidad implícita de manera directa o indirecta.

1. Directiva 2019/944

La Directiva (UE) 2019/944 del Parlamento Europeo y del Consejo, adoptada el 5 de junio de 2019, establece normas comunes para el mercado interior de la electricidad en la Unión Europea. Esta directiva forma parte del paquete legislativo "Energía Limpia para Todos los europeos", que busca modernizar el sector energético de la UE para garantizar un suministro seguro, sostenible, competitivo y asequible.

En aras de tener la mayor competitividad y el precio más económico posibles, la directiva fortalece los derechos de los consumidores, permitiéndoles ser más activos en el mercado energético, facilitando el acceso a herramientas digitales como, por ejemplo, los contadores inteligentes para mejorar la eficiencia energética y la gestión del consumo, además de promover la generación distribuida.

Asimismo, la directiva impulsa el desarrollo de soluciones de flexibilidad en el sistema eléctrico, como el almacenamiento de energía, para dar respaldo e integrar de forma eficiente a las fuentes de energía renovables y de carácter intermitente. Adicionalmente, se crea la figura del agregador independiente, un nuevo actor del sistema eléctrico al servicio de todos los consumidores, sean industriales o residenciales. El agregador independiente, permite a los consumidores ahorrar y generar nuevos ingresos por participar de forma activa en los mercados mediante soluciones tecnológicas.

Por lo tanto, la directiva busca avanzar hacia un mercado energético más descentralizado, participativo y sostenible, alineado con los objetivos climáticos de la UE para 2030 y 2050.

2. PNIEC 2023-2030

En un contexto energético dinámico, el 24 de septiembre de 2024, el Gobierno aprobó la actualización del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2023-2030. Los objetivos actualizados del plan son significativamente más ambiciosos que los publicados en el PNIEC 2021-2030, como se puede ver en la figura 4.

La voluntad de implantar un gran número de instalaciones de energía renovable, como vía para lograr la independencia energética y los objetivos europeos que se han fijado con relación a la emisión de gases de efecto invernadero, pasa por desarrollar no solamente el almacenamiento energético, sino maximizar todo el potencial de la flexibilidad energética y, en definitiva, la gestión de la demanda. La flexibilidad energética es una herramienta esencial para dar cobertura al sistema eléctrico nacional, sobre todo si este avanza hacia un 81% de energía renovable, con una gran cuota de intermitencia para el horizonte 2030 tal y como prevé la actualización del PNIEC a la que hacemos referencia.

2030

	PNIEC 2020 / Hojas de ruta	PNIEC 2023
Eólica	50 GW	62 GW
Incluida eólica offshore	1-3 GW	3 GW
Solar FV	39 GW	76 GW
Incluido Autoconsumo	9-14 GW	19 GW
Hidrógeno renovable: potencia electrolizadores	4 GW	12 GW
Biogás	10,4 TWh	20 TWh
Almacenamiento	20 GW	22,5 GW
Eficiencia en la edificación Rehabilitación de viviendas	1.200.000	1.377.000
Vehículo eléctrico	5 millones	5,5 millones
Electrificación (%sobre energía final)	32%	35%
Demanda eléctrica (vs. 2019)	+5%	+34%

Figura 4. Objetivos sectoriales y por tecnología. Fuente: Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, Actualización 2023-2030

3. Proyecto de Real Decreto

El pasado 29 de julio de 2024, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico propuso el Proyecto de Real Decreto por el que se aprueba el reglamento general de suministro y contratación y se establecen las condiciones para la comercialización, agregación y la protección del consumidor de energía eléctrica. Asimismo, abrió una consulta pública para que las partes interesadas presentaran sus alegaciones al documento, desde el miércoles 31 de julio de 2024 hasta el viernes 13 de septiembre de 2024.

La razón principal de la publicación del documento es la necesidad de desarrollar la figura del agregador independiente para completar la transposición de la Directiva 2019/944 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019. Adicionalmente, se hace hincapié en el empoderamiento del consumidor, con el fin de que este último tenga un papel proactivo a la hora de participar en todos los mercados de electricidad, contribuyendo a lograr los objetivos de transición energética del país.

Todo ello pone de manifiesto la imperiosa necesidad de regular la agregación independiente y la respuesta de la demanda, haciendo atractiva la flexibilidad energética en España, sin poner barreras a las empresas tecnológicas e innovadoras que deseen desarrollarse en nuestro país. Asimismo, resulta evidente e imprescindible, crear mercados y mecanismos que valoricen económicamente la flexibilidad energética de cara a estimular y justificar la inversión, dotando de mayor competitividad al sector eléctrico.

A día de la fecha de la publicación del presente documento, alentamos a las autoridades a dar los pasos necesarios para que la flexibilidad

energética sea lo más atractiva posible, ya que esta es una herramienta de vital importancia para la transición energética y avanzar en la independencia energética de España.

4. Circular 1/2024

La Circular 1/2024, de 27 de septiembre, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, por la que se establece la metodología y condiciones del acceso y de la conexión a las redes de transporte y distribución de las instalaciones de demanda de energía eléctrica, establece los criterios que permitan o favorezcan el acceso a instalaciones de demanda que aporten flexibilidad al sistema.

Asimismo, incorpora las condiciones para la evaluación de capacidad de acceso y conexión de almacenamiento desde el punto de vista de la demanda. A su vez, se trata de un cambio de paradigma ya que hasta ahora el suministro eléctrico por parte del consumidor se garantiza en todo momento, sin embargo, mediante esta circular se prevé que algunas instalaciones de demanda puedan acogerse a un acceso flexible, ya que el almacenamiento puede consumir y verter energía a la red, maximizando el uso de redes existentes.

Con objeto de ayudar a los consumidores en la gestión eficiente del uso de la energía, se emplea un *Energy Management System (EMS)* o Sistema de Gestión de Energía como una herramienta diseñada para monitorizar, controlar y optimizar el uso de la energía en instalaciones, empresas o redes eléctricas. Combina tecnologías de software y hardware avanzadas para gestionar de manera eficiente tanto el consumo como la generación de energía, promoviendo la sostenibilidad y reduciendo los costes energéticos. A su vez, estos sistemas permiten realizar un seguimiento en tiempo real del consumo de energía y de los activos generadores, como paneles solares, eólica, cogeneración y sistemas de almacenamiento.

Adicionalmente, un *EMS* simplifica el acceso a mercados energéticos, permitiendo que empresas o instalaciones vendan excedentes de energía o aprovechen tarifas dinámicas dependiendo de las condiciones del mercado. Asimismo, incorpora herramientas sofisticadas de planificación que ayudan a anticipar la demanda energética y las variaciones de precios, ajustando tanto la generación como el almacenamiento de energía en función de estas predicciones y las condiciones climáticas.

La automatización es otro aspecto clave de un *EMS* ya que puede controlar de manera automática sistemas como calderas eléctricas, activos de generación eléctrica o baterías para maximizar la eficiencia energética. Esto incluye la integración de dispositivos inteligentes y tecnologías *IoT*, de esta forma se pueden monitorizar y controlar en remoto los distintos activos de consumo y generación eléctrica.

En definitiva, un Sistema de Gestión de Energía brinda múltiples beneficios para quien lo instala, puesto que maximiza la eficiencia energética y por consiguiente se ahorran costes energéticos de forma garantizada y automática. Además, es la antesala para poder participar de forma activa en los mercados energéticos tan pronto se pueda participar en los distintos mercados energéticos mediante la flexibilidad explícita.

1. Hardware

A- Monitorización energética

La monitorización energética es un componente esencial en la gestión de la flexibilidad, ya que permite un conocimiento preciso del consumo de energía y facilita la optimización de todo el sistema, permitiendo ajustar el consumo o la producción de energía en tiempo real.

La implementación efectiva de la monitorización requiere una combinación de dispositivos y sistemas diseñados para ofrecer tanto una visión global como detallada del uso energético dentro de una instalación.

Medidores de energía principal y submetering

Para lograr una gestión energética completa, es crucial contar con medidores de energía que proporcionan una medición integral del consumo energético en el punto de entrada de la instalación. Estos medidores no solo permiten la facturación precisa y la gestión de tarifas, sino que también se integran con plataformas de gestión energética para ofrecer un análisis global del consumo.

Dentro de este ámbito, diferenciamos el contador fiscal, identificado en la factura por el número CUPS, y medidores de energía homologados de uso interno.

Por otro lado, el *submetering* desempeña un papel complementario pero crucial al permitir una medición detallada en equipos específicos o áreas concretas. Esta granularidad en la medición ayuda a identificar oportunidades de ahorro y optimización, al proporcionar datos precisos sobre el consumo de diferentes componentes de la instalación.

Gateway IoT para la recogida de datos

Un elemento clave en la infraestructura *hardware* de monitorización es el *Gateway IoT* o *HUB* orientado a la recogida y, en algunos casos, almacenamiento de información, funcionando como el núcleo del sistema de gestión energética. El objetivo final de estos equipos es establecer un medio de concentración de los parámetros recibidos por los distintos equipos y sistemas y unificar la información para ser transmitida de forma ordenada a los softwares de gestión.

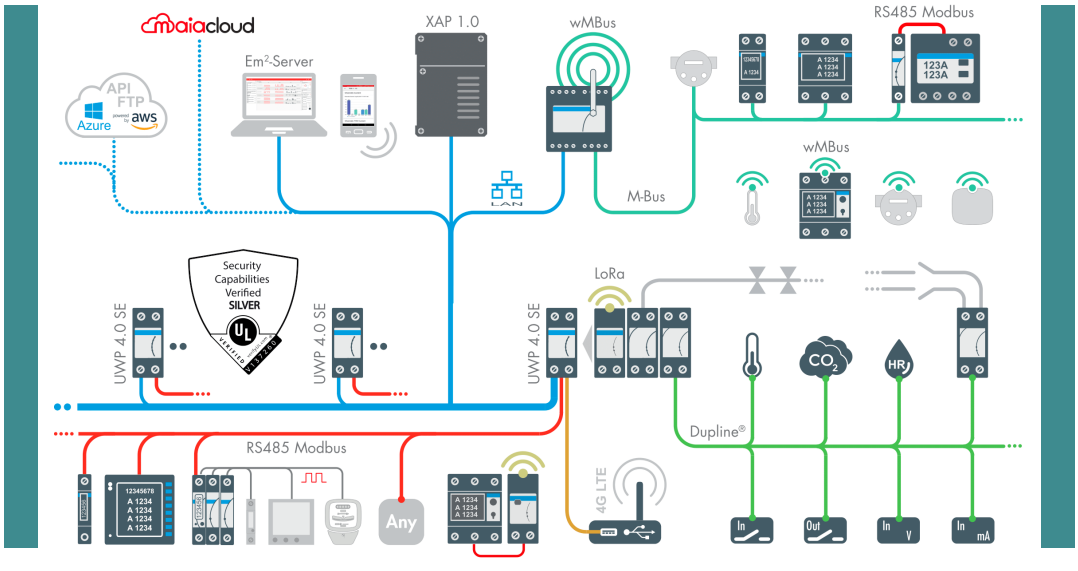

Figura 5. Infraestructura para la Flexibilidad Implícita: Conectividad y Gestión IoT.

B- Control de activos

En este apartado podemos encontrar todos los equipos y sistemas de hardware que serán necesarios para la automatización de procesos, y que nos permitan operar aquellos equipos, máquinas y elementos necesarios para generar acciones sobre la gestión de la energía.

Hardware de control con lógica programada (PLC´s)

La implantación de estos sistemas es crucial para poder tratar de una forma eficiente los equipos intervinientes en nuestros procesos de gestión de la energía, ya que permiten interactuar de forma independiente y automática con estos.

Hardware de control de sistemas de generación de energía

Se incluyen todos los sistemas de control necesarios para la gestión de los distintos equipos de generación de energía que dispone una instalación.

- Asociados a la electricidad suministrada.
- Plantas fotovoltaicas, acumuladores, energía eólica, etc.

Hardware de control de equipos de conexión / desconexión de cargas

Mecanismos de operación de los interruptores de corte en carga y magnetotérmicos de protección de las líneas eléctricas de consumidores y/o arranque y parada de maquinaria.

Aquí pueden estar englobados desde las celdas de media tensión del centro de transformación, hasta cualquier pequeño magnetotérmico de un servicio de enchufes y cualquier contactor o relé de accionamiento de marcha/paro de maquinaria.

Otro Hardware

Dispositivos o sensores con capacidad de comunicación de las variables físicas que interpreta.

Se incluyen en esta categoría los sensores de medidas ambientales (temperatura, humedad, contaminación, lumínicos, etc.), sensores de movimiento o presencia, de volumen o peso, etc.

C- Integración

Este apartado está dedicado a aquellas funciones que permiten elaborar "lenguajes" de comunicación entre entes diferentes, es decir, son las actividades que permiten que dispositivos del mundo físico *OT* (sensores, robots, *PLC*, máquinas, etc.) puedan hablar con software o el mundo *IT*, o a su vez ellos entre sí.

2. Software

A- Optimización y control energético

El principal objetivo del software es permitir al usuario disponer de la mayor visibilidad de todos sus activos energéticos, sean de generación o de demanda, por lo tanto, la monitorización en tiempo real es clave para todo el sistema de gestión. De esta manera, el usuario puede tomar decisiones en base a los datos mostrados en el software.

Asimismo, la optimización energética es clave para una plataforma de gestión de energía o *EMS* como software especializado ya que cuenta con acceso a los mercados energéticos y a los precios del contrato de suministro para poder anticipar el ahorro mediante flexibilidad implícita, o permitir nuevos ingresos mediante la flexibilidad explícita. Esta herramienta se antoja

fundamental para rentabilizar las horas con precios negativos o precios competitivos y minimizar el consumo en las horas en las que haya picos de precio, de esta forma todo el sistema complejo energético con el que cuenta el usuario puede adaptarse a las fluctuaciones del mercado energético de manera automatizada. Para poder optimizar todo el sistema, se tienen en cuenta los datos meteorológicos que se actualizan constantemente y se consigue disponer de la previsión de generación eléctrica en paneles solares y eólica lo que es crucial para el software.

En términos de conectividad, el software utiliza protocolos de comunicación seguros como *IP/MQTT*, lo que garantiza la transmisión de datos de manera protegida y de seguridad. Otro aspecto clave es la actualización continua del software, ya que permite incorporar nuevas funcionalidades y mejoras de forma regular, manteniendo el sistema a la vanguardia de la tecnología. Asimismo, la integración de diversas fuentes de datos para conectar múltiples sistemas resulta primordial, así pues, se emplean medidores inteligentes en diferentes activos, dispositivos *IoT* y plataformas de gestión.

Gracias a algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje automático, es posible analizar datos históricos de los activos, predecir patrones de consumo y generación, y detectar oportunidades de optimización y ahorro.

Con el objetivo de que el *EMS* pueda tomar las decisiones correctas, son necesarios dos elementos fundamentales:

Algoritmos para la predicción de la demanda, generación

Estos algoritmos son fundamentales para establecer las correctas bases de consumo y generación que van a tener los activos que se van a gestionar. Para ello, la adopción de técnicas de *Machine Learning* o inteligencia artificial son necesarias, ya que permiten la gestión de gran cantidad de datos y los modelos son flexibles y altamente escalables.

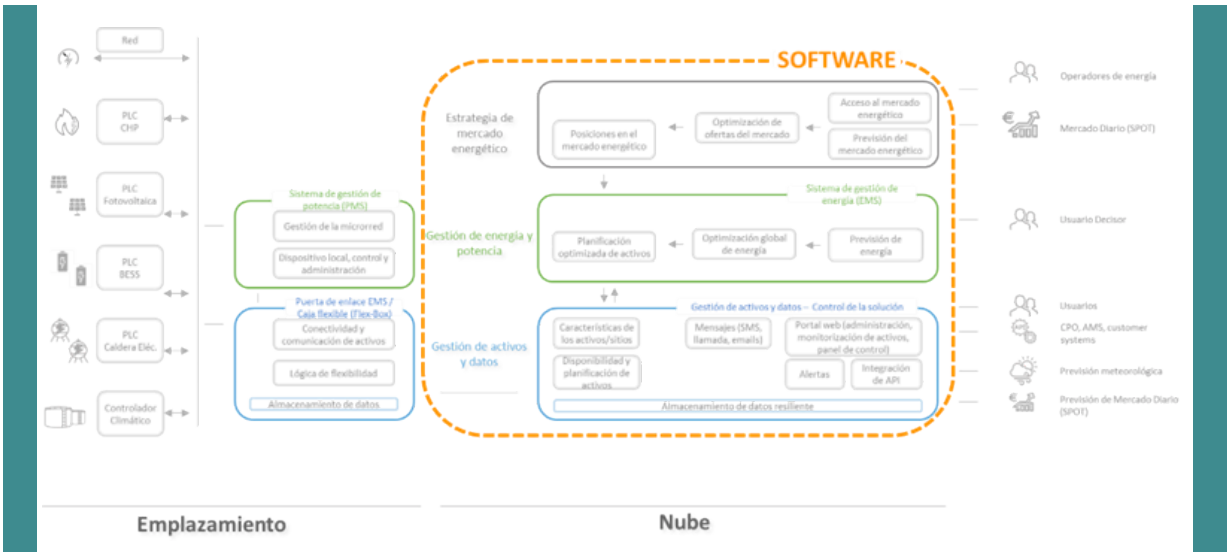

Figura 6. Esquema de flujos de información de la solución software de un EMS.

Modelos de optimización robustos para la toma de decisiones

El objetivo principal de los modelos de optimización es tomar la decisión óptima con el único fin de generar los máximos ahorros y/o beneficios posibles mediante la gestión de los activos flexibles. Para ello, los modelos de optimización necesarios tendrán como objetivo minimizar el coste eléctrico del consumidor teniendo en cuenta las características de su instalación, su tarifa y su contrato eléctrico. Además, es fundamental que, para la correcta toma de decisiones, los modelos tienen que ser capaces de capturar comportamientos reales de activos o procesos energéticos flexibles que van a ser controlados.

B. Panel de control

Cada sistema energético es distinto, la configuración depende de los activos de generación y de demanda que tenga el usuario, por lo tanto, la solución software es completamente personalizable. La vista del panel de control difiere según los datos que el usuario quiera visualizar, en definitiva, se trata de un traje a medida. La idea principal es compartir datos complejos de una manera intuitiva para que la toma de decisión no se resienta, por ello la arquitectura de la herramienta es crucial para el correcto desempeño del usuario.

Por lo tanto, las interfaces han de ser lo más eficaces posibles para que permitan monitorizar en tiempo real el consumo energético, realizar predicciones, gestionar activaciones de flexibilidad y calcular ahorros obtenidos. Estas funcionalidades facilitan la generación de reportes que analicen el rendimiento energético. Asimismo, las herramientas deben ser versátiles, adecuándose a las características específicas de instalaciones de distintos tamaños y niveles de complejidad.

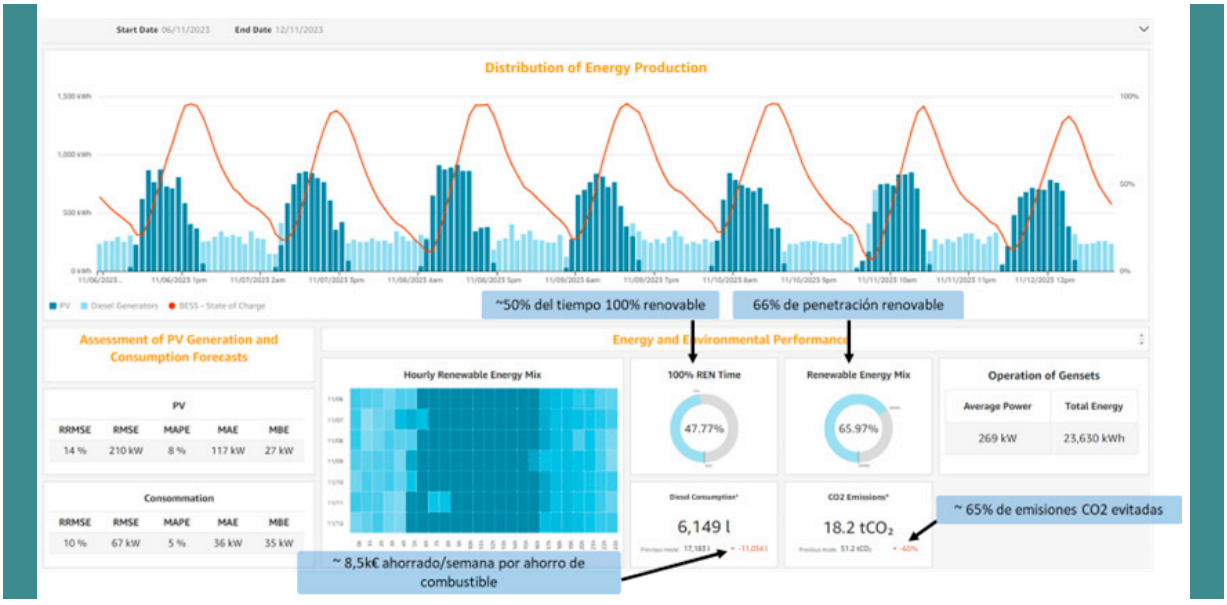

Figura 7. Ejemplo de panel de control personalizable de un software.

Así mismo, la información relativa a la disponibilidad de los activos de generación y demanda, así como la información de los mercados energéticos y la previsión de costes energéticos según el contrato de suministro y el posible PPA firmado, se antoja fundamental para que el usuario tenga una óptima visión del sistema y que todo el entramado quede optimizado, asegurándole la mayor cantidad de ahorro posible.

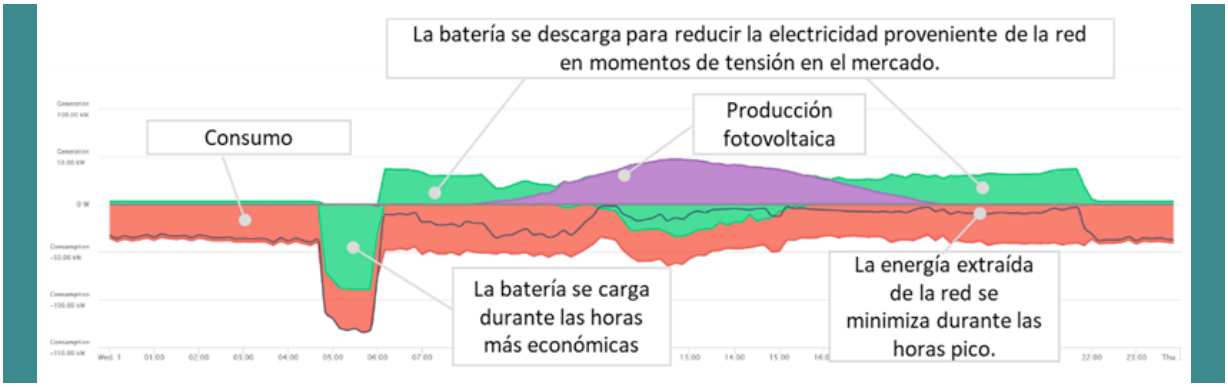

Figura 8. Vista diaria de la generación y la demanda de un sistema energético optimizado.

1. Energy Pool – Caso de éxito en la industria agrícola

Mopabloem es una empresa neerlandesa del sector agrícola que opera invernaderos climatizados y cámaras refrigeradas para producir tulipanes. Esta empresa cuenta con una elevada automatización en sus procesos, además de activos de generación en sus instalaciones como paneles solares, cogeneración, y baterías tal y como se puede apreciar en la siguiente figura.

El primer objetivo es controlar la instalación por completo para adecuarse a las restricciones de la red, que pueden ser tanto físicas por las congestiones, como contractuales debido a los *PPA* y contratos de suministro firmados, ya sean indexados al mercado diario en su totalidad o con coberturas de precio parciales, todo ello, maximizando el autoconsumo y satisfaciendo las necesidades operativas de la industria consumidora.

El primer objetivo es controlar la instalación por completo para adecuarse a las restricciones de la red, que pueden ser tanto físicas por las congestiones, como contractuales debido a los *PPA* y contratos de suministro firmados, ya sean indexados al mercado diario en su totalidad o con coberturas de precio parciales, todo ello, maximizando el autoconsumo y satisfaciendo las necesidades operativas de la industria consumidora.

El segundo objetivo es minimizar los costes energéticos totales, así como las emisiones de gases de efecto invernadero. En el año 2023, Energy Pool inició el desarrollo de la solución *PMS/EMS*, siendo esta una solución integrada que combina un hardware o Sistema de Gestión de Potencia (*PMS*) programado e instalado en la planta industrial y un software o Sistema de Gestión de Energía (*EMS*).

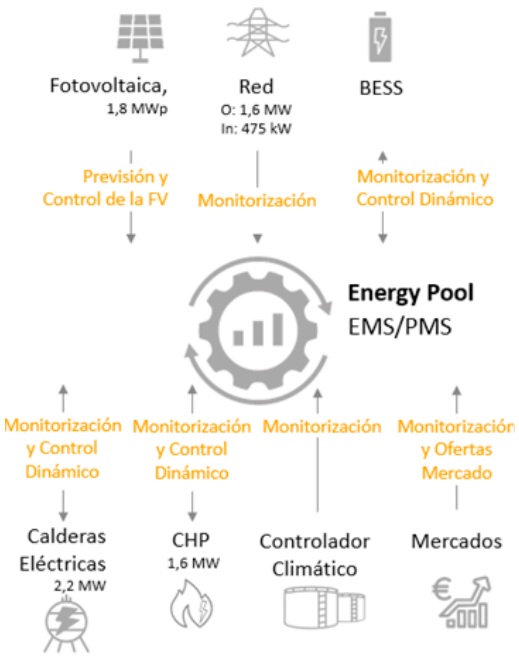

Figura 9. Esquema de activos energéticos del sitio industrial Mopabloem.

La configuración descrita (ver figura 9) permite acceder a datos en tiempo real sobre el consumo y la generación eléctrica, además de contar con previsiones para los próximos días. Esto es posible gracias a la constante actualización de datos meteorológicos, la disponibilidad operativa de los diferentes activos de generación y consumo, y la información de mercado. Esta integración optimiza al máximo el autoconsumo.

Adicionalmente, el sistema permite desplazar el consumo de forma automatizada para aprovechar los precios más competitivos del mercado. También ofrece la posibilidad de gestionar la carga y descarga de baterías en los momentos más rentables económicamente e inyectar energía a la red en respuesta a señales de precio favorables.

Desde la perspectiva de la flexibilidad implícita, la solución *PMS/EMS* de Energy Pool optimiza los costes energéticos asociados al contrato de suministro o *PPA*. Esto se logra al consumir energía directamente de la red en los momentos en que los precios son más competitivos, satisfaciendo las necesidades operativas de la planta industrial y permitiendo el almacenamiento de energía.

Además, la solución maximiza el autoconsumo de la instalación fotovoltaica durante los picos de precio, reduciendo así la dependencia de la energía adquirida de la red a precios del mercado diario o precios de cobertura, como se ilustra a continuación.

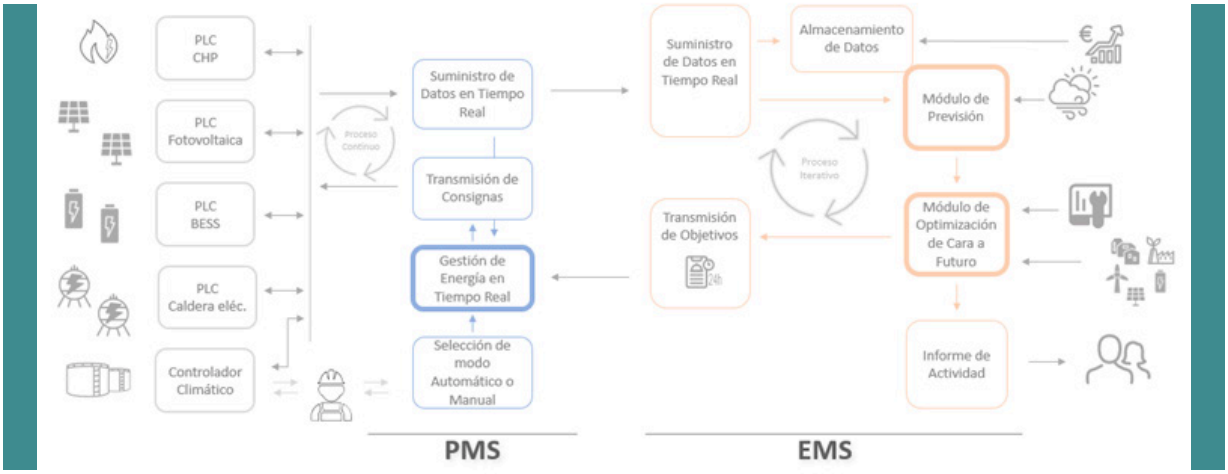

Figura 10. Configuración de la solución personalizada de Mopabloem por Energy Pool.

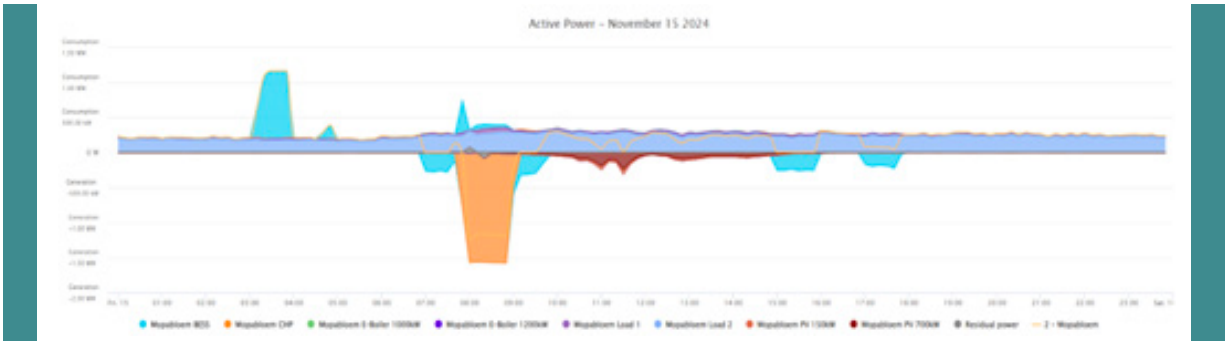

Figura 11. Vista de la generación y del consumo de los distintos activos presentes en el sitio industrial Mopabloem.

En definitiva, la solución permite al industrial contar con los precios más económicos posibles teniendo en cuenta su propia actividad industrial y los distintos activos de generación y de consumo instalados, de este modo Mopabloem ahorra costes energéticos de manera automatizada. Así mismo, la solución de flexibilidad implícita es la precursora para disponer de ingresos mediante flexibilidad explícita, gracias a esta tecnología, Mopabloem que cuenta con 1MW flexible puede generar aproximadamente 500 k€/MW/año participando en la reserva secundaria (aFRR).

2. Bamboo Energy – Caso de éxito en la industria frutícola

El objetivo de este caso de estudio es analizar la flexibilidad disponible en las industrias alimentarias de la fruta, especialmente en el almacenamiento del producto en cámaras frigoríficas. El proceso consistirá en modificar el consumo de los compresores para poder reducirlo durante las horas más caras de energía y recuperarlo durante las horas más baratas También, se aprovecha la generación local de la planta para autoconsumo, con objeto de maximizar el uso de los excedentes. Se analizará el beneficio económico que conlleva emplear flexibilidad en

El objetivo de este caso de estudio es analizar la flexibilidad disponible en las industrias alimentarias de la fruta, especialmente en el almacenamiento del producto en cámaras frigoríficas. El proceso consistirá en modificar el consumo de los compresores para poder reducirlo durante las horas más caras de energía y recuperarlo durante las horas más baratas También, se aprovecha la generación local de la planta para autoconsumo, con objeto de maximizar el uso de los excedentes. Se analizará el beneficio económico que conlleva emplear flexibilidad en la industria de la conservación y distribución de la fruta.

La industria analizada tiene diferentes procesos empleados para la producción, conservación y distribución de la fruta. Las características relacionadas con la factura eléctrica son las siguientes:

- Potencia contratada: 1.650 kW en todos los períodos tarifarios.
- Consumo anual: 1.520 MWh (50% - 70% del consumo asociado a las cámaras frigoríficas).
- Tarifa 6.1 TD 100% indexada.
- Fotovoltaica instalada de 1.000 kW.
- Dispositivos conectados: 9 compresores de potencia total 1.013 kW (61% de la potencia contratada).

La solución tecnológica ofrecida por Bamboo Energy es una plataforma de gestión de la flexibilidad que permite adaptar el consumo de forma automática, en función de los precios del mercado eléctrico. El control que se tiene es sobre los compresores que refrigeran las cámaras térmicas, de tal forma que se harán paradas de una hora en estos compresores, cuando el precio de la electricidad sea el más elevado. Estas activaciones son a subir, ya que consisten en bajar el consumo durante las horas donde el precio de la electricidad es más elevado, aumentando el consumo la hora siguiente, donde el precio es más económico o hay excedente de PV.

La conexión con los compresores es posible mediante las soluciones *IoT* ofrecidas por la plataforma, para poder hacer la parada de los compresores en remoto, y de forma totalmente automática para modelar su consumo.

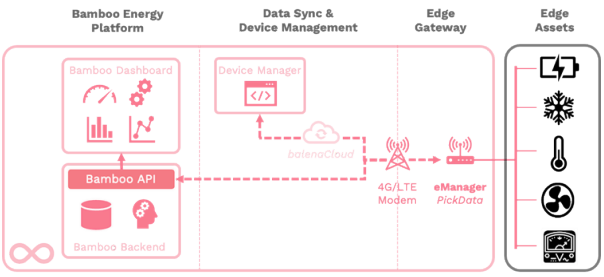

Figura 12. Esquema de la solución por Bamboo Energy.

El día anterior, cuando se conocen los precios del mercado mayorista para el día siguiente, la plataforma Bamboo Energy calcula el precio de la electricidad para la industria en cada hora. Paralelamente, la plataforma calcula las previsiones de flexibilidad disponible por parte de la industria en cada hora, es decir, la cantidad de energía que se podría desplazar, teniendo en cuenta todas las restricciones de operación establecidas por la industria para mantener intacta la calidad del producto. Esta previsión de flexibilidad sirve para definir cuándo se pueden hacer las activaciones para parar los compresores.

Los resultados obtenidos durante el caso de estudio en una industria de fruta, utilizando la flexibilidad de los compresores de las cámaras frigoríficas son los siguientes. En primer lugar, se ha comprobado que los ahorros obtenidos en la factura eléctrica son entre 650€ y 1.000€ mensuales, que, extrapolándolo a un consumo anual, los ahorros que se obtendrían son de hasta 12.000€. Esto representa un ahorro de entre el 9,5% y el 10,5% de la factura eléctrica, que en euros por MWh son entre 7 €/MWh y 9 €/MWh. Teniendo en cuenta que el número de activaciones es de 3 al día, el ahorro medio por activación de flexibilidad es de 14,2 €/activación.

En conclusión, gracias al uso de la plataforma de Bamboo Energy en la industria de conservación y distribución de fruta, se ha podido ver que se generan ahorros económicos en la factura eléctrica debido al paro automático de los compresores. Además, se ha podido comprobar que haciendo paradas de 1 hora al día, la fruta no se ve afectada en ningún aspecto, debido a la inercia térmica de las cámaras. Para poder mejorar los resultados obtenidos, en próximas fases se puede ampliar el número de activaciones al día y participar en mercados de flexibilidad para obtener ingresos. También se puede optimizar la potencia contratada, de modo que se pueda cubrir el 100% de la demanda con menos potencia.

IX. Conclusión

Las soluciones innovadoras y tecnológicas van a la par de la transición energética, gracias a la flexibilidad implícita mediante los equipos que permiten la automatización de procesos y a sistemas de gestión energética se garantiza al usuario la optimización de todos los costes energéticos, así como el cumplimiento de los objetivos medioambientales. La perspectiva para los próximos años no es otra que el aumento de la electrificación de los procesos industriales y de la economía y de instalaciones de almacenamiento, ya que nuevas tecnologías requieren de una infraestructura energética robusta que les permitan consumir sin inconvenientes.

Por todo ello, la flexibilidad implícita se muestra como una herramienta económica y de fácil implementación que permite maximizar la eficiencia energética del emplazamiento. Asimismo, la adopción de este tipo de instrumento tecnológico no solo garantiza ahorros significativos, sino que también es el preludio a la hora de obtener un beneficio económico, debido a la participación activa de los consumidores eléctricos en los distintos mercados por medio de la flexibilidad explícita.

ASOCIACION NACIONAL DE
Empresas de Eficiencia Energetica

Smarkia · CARLO GAVAZZI · bamboo energy · Energy Pool Smart energy management · azigrene · FUTURATECH CONSULTORES