



Solúcar PS10 es una planta de 11 MW que produce electricidad con 624 helióstatos de gran tamaño. Cada uno de estos espejos tiene una superficie de 120 m² que concentra los rayos del sol en la torre, de 115 metros de altura, donde se encuentra un receptor solar y una turbina de vapor. La turbina mueve un generador, lo que produce electricidad. Se encuentra ubicada en Sanlúcar la Mayor (Sevilla), y es propiedad de Abengoa Solar.

Planteamientos conceptuales

2.1

Mecanismos de respuesta rápida y evolución en escalón

El cambio climático se está produciendo a una velocidad muy superior a la que pronosticaban los modelos del IPCC en su informe del año 2007. La causa principal recae en el sistema energético basado en combustibles fósiles, a su vez alimentado por un sistema económico que valora la venta de productos en vez del suministro de servicios, y que se apoya en un crecimiento ilimitado claramente insostenible. Mientras, la respuesta política es mucho más lenta, y se dirige más a poner 'parches' y a promover cambios que, o bien agravan más el problema, o en el mejor de los casos darán respuesta a muy largo plazo (mecanismos de respuesta lenta). Por el contrario, lo que se necesita son mecanismos de respuesta rápida, como son los asociados a activar un cambio en la estructura del sistema económico para pasar de vincular directamente el nivel de beneficio con el nivel de despilfarro, a vincular el beneficio con el nivel de ahorro.

Dado que, para evitar un cambio climático desastroso, la comunidad científica señala la urgencia de alcanzar dentro de esta década el máximo de emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, que deberán comenzar a reducirse lo más rápido posible a partir de entonces, resulta evidente que no es posible alcanzar a tiempo la sostenibilidad mediante cambios progresivos (poco a poco). Por ello, el estudio introduce el concepto de cambios en escalón, es decir, saltos que permiten avanzar más rápido, y rompen la tendencia. Se considera que esto es posible gracias a que se dispone de herramientas para acometer esta evolución discontinua. La incorporación de inteligencia, tanto en el sistema energético como en los sistemas económico y político,

constituye el ingrediente fundamental para activar estos cambios en escalón. Una de las opciones que permitirían ese salto es la participación activa de la demanda, es decir, de los usuarios de la energía, en la operación y gestión del sistema energético, lo que proporciona un gran incremento en la flexibilidad del sistema.

2.2

Transición hacia la era de la inteligencia

El contexto Energía 3.0 descansa fuertemente sobre la incorporación de inteligencia en todos los sistemas (tanto el sistema político, sistema administrativo, sistema social y sistema económico, como los sistemas técnicos: red eléctrica inteligente, sistema de transporte inteligente, edificios inteligentes, etc.) y en sus interacciones, pues es precisamente aquí donde reside uno de los mayores potenciales de implementar cambios en escalón para apartarnos de la actual trayectoria. Sin embargo, dada la naturaleza del alcance del estudio, que se encuentra centrado en el sistema energético, el mayor esfuerzo se concreta en analizar el potencial de los elementos técnicos para desarrollar el cambio requerido, presuponiendo que el resto de sistemas acompañan y guían el desarrollo de los sistemas técnicos.

2.2.1 Evolución de planteamientos oferta – demanda

Tradicionalmente, la forma de estructurar la cobertura de la demanda de servicios energéticos ha estado enfocada exclusivamente del lado de la oferta, que se refleja en las siguientes características en cada sector:

La clave está en cambiar a una economía energética basada en prestaciones, donde el beneficio esté ligado a la eficiencia en lugar de al despilfarro.

- En el sector eléctrico: se regula exclusivamente desde el lado de la generación; solo se adapta la capacidad de generación para acoplarse a la previsión de demanda, que evoluciona libremente. Esto lleva a ineficiencias como: uso de centrales de bajo rendimiento energético que operan durante muy pocas horas al año, red de transporte y distribución sobredimensionada, y disipación de energía renovable.
- En el sector transporte: se establecen rutas y horarios fijos a los que la demanda debe someterse si quiere emplear medios de transporte colectivos. Esto trae asociadas ineficiencias como: bajas cotas de utilización del transporte colectivo, y recorridos fijos, transitados con vehículos con bajo factor de ocupación.
- En el sector edificación: se construyen más edificios de los necesarios, sin criterios de eficiencia en el uso y con sistemas de climatización sobredimensionados. Esto se manifiesta en edificios ineficientes, que demandan mucha energía y que la consumen todos al mismo tiempo.

En todos estos casos se encuentran causas comunes, como una simplificación de la gestión, que prima las preferencias del prestador del servicio y no las del usuario, así como que las tecnologías y capital necesarios para prestar el servicio solo están al alcance de unos pocos. Y se derivan consecuencias tan diversas como la dependencia de fuentes energéticas concentradas y poco democráticas, el agotamiento de recursos, el cambio climático, los servicios no accesibles a todo el mundo y la rigidez (incapacidad de adaptación al cambio).

Por el contrario, el contexto Energía 3.0 está basado en una participación activa de la demanda. Esto aporta como principal elemento distintivo una elasticidad intrínseca.

2.2.2 Sistemas técnicos inteligentes

La tecnología permite, y permitirá cada vez más, introducir inteligencia en todos los sectores del sistema energético:

- Redes eléctricas inteligentes, que no solo transportan energía sino información, y que permiten una respuesta inteligente de la demanda a las señales de información o precio sobre el momento y la cantidad óptima de energía a utilizar.

- Sistemas de transporte inteligentes, integrados dentro del sistema energético, que responden directamente a las necesidades de la demanda, y permiten que ésta se module según criterios de urgencia, eficacia y coste.
- Edificios inteligentes, con capacidad de cubrir la demanda de servicios finales con el mínimo consumo de energía, y de establecer comunicación bidireccional entre el sistema energético y los usuarios.
- Sistemas industriales inteligentes, que cubren sus necesidades con elevada eficiencia, y se integran dentro del sistema energético.

2.2.3 Sistemas socioeconómicos y políticos inteligentes

La inteligencia de los sistemas técnicos es un elemento necesario pero no suficiente. Para hacerla realidad, hace falta que el sistema económico también evolucione hacia la inteligencia global, lo que permite catalizar cambios en escalón con tiempos de respuesta muy cortos.

La clave está en cambiar a una economía energética basada en prestaciones, donde el origen del beneficio económico esté íntimamente ligado a la eficiencia y ahorro energético en vez de al despilfarro, es decir, en la cobertura de servicios con los mínimos recursos en vez de en la venta de cantidad de productos.

En el marco de un sistema económico, basado en prestaciones energéticas, pueden establecerse los siguientes modelos de negocio:

- **Edificación eficiente.** El promotor se corresponsabiliza de los costes de operación del edificio, y vende dichos servicios. Sus beneficios se basan en proporcionar los servicios comprometidos con la máxima eficiencia, con lo que su objetivo será construir solo lo necesario para optimizar la eficiencia.
- **Transporte eficiente.** Se basa en la venta de servicios de movilidad y no vincula los beneficios a los ingresos del kilometraje y del número de vehículos vendidos. El incentivo está directamente vinculado a la cobertura de la demanda de movilidad con el mínimo uso de recursos, y potencia la producción de vehículos eficientes y en el mínimo número posible.
- **Sistema eléctrico integrado y eficiente.** Se basa en retribuir al consumidor final los servicios

complementarios que puede aportar al sistema eléctrico para su operación y regulación, para destapar todo el potencial de la gestión y respuesta de la demanda. Se consideran las distintas formas de demanda de energía final, al integrarlas a través de un vector energético (electricidad) que permite explotar al máximo las sinergias.

El despliegue de inteligencia también debe abarcar al sistema social, para lo que solo hace falta tomar conciencia del papel fundamental como individuos en la sociedad, y al sistema político, que debe regular y activar los mecanismos que permitan que se extienda la inteligencia por los sistemas técnico y económico, así como controlar el sistema administrativo de forma que actúe de forma coherente con las políticas que se pretenden impulsar. Esto es factible, ya que los políticos son completamente 'renovables'.

2.3

Integración y electrificación del sistema energético y sus repercusiones

El sistema de Energía 3.0 es un sistema energético integrado, y el mejor vector para esa integración es la electricidad, que es el que permite suministrar más servicios energéticos en distintos sectores, aprovechando las sinergias entre ellos, y que además permite que el conjunto de los recursos renovables queden accesibles a las distintas aplicaciones de todos los sectores energéticos. Ahora bien, la electrificación de los distintos sectores energéticos es condición necesaria pero no suficiente para la sostenibilidad, pues no se debe perder en ningún momento de vista cómo se genera esa electricidad ni la cantidad de electricidad que se requiere generar.

La electrificación tiene sentido unida a las energías renovables. Gracias a las energías renovables, cada vez se emite menos CO₂ para generar un kilovatio-hora de electricidad (en el año 2010 el coeficiente de emisiones para el sistema eléctrico español ya había descendido a 247 g CO₂/kWh_e). Con la tendencia actual, en un plazo de tiempo muy breve se podrían tener sistemas eléctricos con coeficientes de emisiones muy bajos, por lo que

siempre y cuando la generación de esa electricidad se produzca mediante fuentes de energía renovable, la electrificación de los distintos sectores energéticos (edificación, transporte e industria) puede constituir la vía más rápida y eficiente para orientarlos hacia la sostenibilidad. Además, mediante la electrificación, los diversos sectores energéticos pueden adquirir un importante papel activo en la regulación efectiva de la operación de un sistema basado en energías renovables, al desplegar el potencial de la gestión de la demanda mediante una red inteligente.

Ahora bien, en un sistema que genere toda su electricidad con fuentes renovables, si solo se actúa desde la oferta, se produce mucha 'electricidad residual', es decir, aquella electricidad producida con fuentes renovables no acumulables que, por motivos de regulación del sistema eléctrico, no llega a producirse para adaptar la oferta a la demanda. El contexto Energía 3.0, mediante la inteligencia, la integración y la electrificación conduce a la valorización de esta electricidad residual, por lo que deja de ser un 'residuo' para convertirse en un elemento importante para impulsar la eficiencia del sistema integrado.

La integración y la electrificación del sistema energético implica varios cambios de paradigma, con nuevos planteamientos sobre cuáles son las soluciones más eficientes, como la cobertura de la demanda térmica en el sector de la edificación, el papel de la cogeneración y el de la energía solar térmica de baja temperatura. A continuación se explican los nuevos planteamientos sobre la eficiencia de estas soluciones bajo los nuevos paradigmas.

2.3.1 Cobertura de la demanda térmica en el sector edificación

Tradicionalmente se ha manejado la idea de que resultaba más eficiente, energéticamente hablando, cubrir la demanda de energía térmica de los edificios mediante la quema directa de combustibles que mediante energía eléctrica. El concepto subyacente en esta idea es el bajo rendimiento con el que tradicionalmente se convertía la energía de los combustibles fósiles en electricidad en las centrales térmicas (30% – 40%). Sin embargo, en un sistema en el que la electricidad se genera cada vez con más

La electrificación de los distintos sectores energéticos es condición necesaria, pero no suficiente, para la sostenibilidad, pues no se debe perder en ningún momento de vista cómo se genera esa electricidad ni la cantidad que se requiere generar.

fuentes renovables, la generación térmica con calderas deja de ser la opción más eficiente.

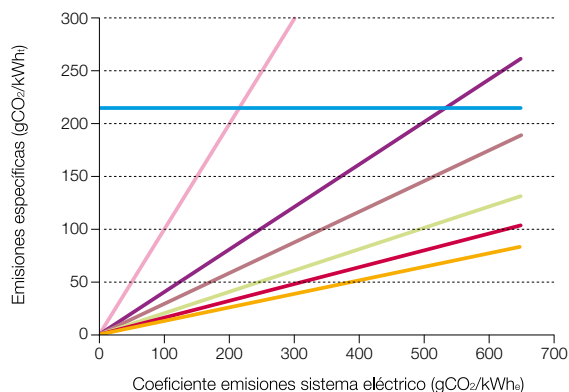
Una caldera de gas natural (el combustible fósil de menos emisiones) de elevado rendimiento promedio (95 %) produce unas emisiones de $215 \text{ gCO}_2/\text{kWh}_t$. En el año 2010 el coeficiente de emisiones del sistema eléctrico español ya era de $247 \text{ gCO}_2/\text{kWh}_e$ ¹, por lo que las emisiones asociadas a la producción de un kWh térmico con bombas de calor se reducen a $71 \text{ gCO}_2/\text{kWh}_t$ para un coeficiente de rendimiento (COP)² igual a 3,5 y a $38 \text{ gCO}_2/\text{kWh}_t$ para COP = 6,5, es decir, menos de la quinta parte que las asociadas a emplear una caldera de alta eficiencia. Por tanto, ya en las condiciones actuales de este sistema eléctrico, las prestaciones de todas las bombas de calor indicadas resultan tremendamente ventajosas respecto a las de una caldera de gas. Es más, siempre que el coeficiente de emisiones del sistema eléctrico se sitúe por debajo de los $215 \text{ gCO}_2/\text{kWh}_e$, incluso las calefacciones eléctricas por efecto resistivo puro pasan a ser mejores desde el punto de vista de emisiones que la caldera de gas. Y en un contexto con elevada penetración renovable (coeficiente de emisiones del sistema eléctrico que tienden a cero) todas las opciones eléctricas (incluyendo la resistiva pura) se aproximan a unas emisiones específicas nulas para producir la energía térmica requerida.

Las bombas de calor hay que entenderlas como tecnologías que aprovechan energía térmica de origen renovable (solar) almacenada en el aire (bombas aerotérmicas), o en la tierra (bombas de calor

geotérmicas). Al alcanzar un sistema de generación eléctrica 100 % renovable, el aporte de energía térmica a los edificios equipados con bombas de calor (para calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria -ACS-) sería 100 % renovable.

Al sector de la edificación se le abre no solo una, sino todo un abanico de opciones de alcanzar en los próximos años una integración del 100 % de renovables para cubrir su demanda energética. La primera batería de herramientas a implementar son, sin duda, las de eficiencia energética y bioclimatismo, es decir, medidas encaminadas a reducir la demanda de energía final del edificio. Y para el remanente de la demanda energética del edificio, aquella que haya que aportar de forma activa, habría dos opciones: sistemas descentralizados de energías renovables de origen térmico, y electrificación con bombas de calor que se apoyan en un sistema eléctrico interconectado cuya generación esté basada en energías renovables. La opción eléctrica presenta varias ventajas: sinergias entre los distintos servicios energéticos a cubrir (por emplear para cubrir las demandas energéticas de climatización el mismo vector energético que las demás aplicaciones que solo se pueden cubrir con electricidad), menores costes económicos y su utilidad para los mecanismos de mercado asociados a la gestión de la demanda, es decir, los usuarios pueden ofrecer al sistema eléctrico la regulación del encendido o apagado de sus sistemas de climatización (que se pueden controlar a distancia y de forma automática actuando sobre los termostatos), sin tener que renunciar

Figura 1 Comparativa de las emisiones específicas asociadas a la generación de energía térmica útil, entre una caldera de gas natural eficiente (95% rendimiento estacional) y bombas de calor con distinto COP.



¹ En 2008 fue de $390 \text{ gCO}_2/\text{kWh}_e$, y en 2009 de $270 \text{ gCO}_2/\text{kWh}_e$.

² COP, del inglés 'Coefficient of Performance'.

a la calidad del servicio recibido, de forma que las compañías que gestionan el sistema eléctrico puedan contar con la regulación controlada de esa demanda.

2.3.2 Cogeneración

Cuando la producción de electricidad se basa principalmente en la conversión termoeléctrica de combustibles fósiles, y la producción de energía térmica final en la combustión directa de estos mismos combustibles, la cogeneración adquiere todo su sentido desde el punto de vista de la eficiencia para evitar el despilfarro de los combustibles fósiles. Sin embargo, en un sistema eléctrico con bajo coeficiente de emisiones (por introducción de renovables), y al emplear equipamiento eficiente en el consumo, la cogeneración puede incluso perder su sentido desde el punto de vista de la eficiencia energética por dejar de proporcionar ahorros de energía primaria.³

Por ello, aunque es posible que la cogeneración pueda jugar un papel relevante en la transición hacia el contexto Energía 3.0 y dentro de ciertas aplicaciones, a largo plazo, para la cobertura de la demanda térmica del sector edificación, no se considera la cogeneración (ni basado en combustible fósil ni en biomasa) como una de las tecnologías participantes en el contexto Energía 3.0. Por el contrario, en el sector industrial sí que se considera como una tecnología apropiada para el contexto Energía 3.0 la cogeneración basada en biomasa y operada preferentemente desde el punto de vista de los requerimientos de regulación del sistema eléctrico, complementada por el aprovechamiento de la electricidad residual del sistema eléctrico, para proporcionar la requerida garantía de cobertura de la demanda, y sometida a la limitación de no disparar el consumo de biomasa por encima de valores que parezcan razonables en términos relativos con el escaso recurso disponible.

2.3.3 Solar térmica de baja temperatura

La energía solar térmica es una tecnología conceptualmente sencilla, cuyo objetivo es el ahorro de energía consumida de otras fuentes para obtener calor (demandas térmicas). Por razones de coste, no se puede esperar que por sí sola cubra todas las demandas

térmicas, pero sí que puede encontrar varias aplicaciones útiles en el contexto Energía 3.0.

En el escenario de edificación se considera que la solar térmica se encuentra incorporada en una cantidad equivalente a la cobertura de la fracción de la demanda de agua caliente que marca el Código Técnico de la Edificación en la actualidad, y se tienen en cuenta varias aplicaciones:

- Producción de agua caliente en edificios, durante el periodo de transición hacia el sistema Energía 3.0, cuando habría soluciones mejores gracias a la electricidad 100% renovable.
- Integración en redes de calefacción de distrito, allí donde esa infraestructura energética ya exista.
- Sinergias con bombas de calor geotérmicas de alta eficiencia. La solar térmica mejoraría el rendimiento de las bombas de calor, y acumularía en el suelo calor excedente del verano para su uso en temporada de calefacción, lo que aporta además flexibilidad a la operación del sistema eléctrico.
- Sinergias con bombas de calor aerotérmicas eficientes, donde las geotérmicas no sean aplicables.
- Colectores solares mixtos térmicos/fotovoltaicos.

Dentro del sector industrial, la solar térmica tiene sentido para aplicaciones de media y alta temperatura, desde la perspectiva de conservación del recurso biomasa, aunque tendría que competir en costes con la opción hidrógeno procedente de electricidad renovable y con la electricidad 'residual' del sistema 100% renovable. En aplicaciones de baja y media temperatura sería una opción cuando coincidan en el mismo lugar las industrias que necesitan calor y las centrales solares termoeléctricas, que podrían funcionar en modo cogeneración.

³ En el informe completo *Energía 3.0* (Greenpeace, 2011) se encuentra una justificación detallada de esta afirmación.