



Receptores térmicos en una fábrica de Schott en Sanlúcar La Mayor (Sevilla). Schott Solar es uno de los proveedores, líderes mundiales, de componentes clave para los receptores de la tecnología utilizada en la energía solar térmica.

# Escenario de demanda del sector industria

El sector industria presenta una serie de características diferenciales respecto a los otros dos sectores (transporte y edificación) analizados en los capítulos anteriores, y que han condicionado el tratamiento realizado.

En primer lugar no constituye un sector difuso, por lo que su seguimiento y caracterización ha sido históricamente mucho más cercana. Esta mayor centralización ha contribuido también a que el grado de exigencias regulatorias sobre el sector industria haya sido superior y más temprano que en los sectores difusos.

Por otro lado, debido a la vinculación directa de medidas de eficiencia con la generación de beneficio económico a gran escala, la aplicación de medidas de eficiencia en el sector industria ha sido también anterior. Por tanto, si bien queda un significativo margen de mejora por explotar, la evolución pasada del consumo energético de este sector ya muestra una contención significativa del crecimiento de la demanda sectorial, incluso a pesar de constituir el sector industria uno de los motores principales del crecimiento mantenido del PIB que hemos tenido en el pasado.

Incluso desde el punto de vista de la gestión de la demanda, el sector industria es el único que actualmente ya tiene la posibilidad de una participación activa en este campo mediante los contratos de servicio de gestión de la demanda de interrumpibilidad.

De cara al desarrollo futuro de la estructura del sistema energético cabe esperar que la importancia relativa del sector industria frente a los otros dos sectores (edificación y transporte) en un contexto BAU se haga cada vez menor. Debido, por un lado, a las acentuadas tendencias de crecimiento del consumo energético

en los sectores difusos, y por otro a la contención de dicho consumo en el sector industria. Sin embargo, en un contexto E3.0, precisamente ese menor margen de mejora en el sector industria puede hacer que acabe siendo uno de los sectores más importantes en la estructura de la demanda energética.

Por otro lado, la gran diversidad de casuísticas dentro del sector industria requeriría un análisis específico fuera del alcance de este estudio para cuantificar con detalle los potenciales de mejora, pero proporcionando un potencial de reducción del consumo menor que en los sectores difusos.

Por tanto, la caracterización actual del sector industria, e incluso el potencial desarrollo de su escenario BAU, contiene muchas menos incertidumbres e incógnitas que en los sectores difusos. Por este motivo, se ha decidido invertir la mayor parte del recurso asociado al desarrollo de este informe en profundizar en la caracterización y elaboración de escenarios para los sectores difusos, que encerraban la mayor parte de incógnitas sobre su desarrollo y su potencial tanto en los contextos BAU como E3.0.

Por último, este estudio no ha intentado abarcar el efecto de las importaciones de bienes de consumo sobre el balance energético, por lo que las contribuciones y escenarios sobre el sector industria se corresponden exclusivamente al consumo del sector industria dentro del país. Se considera que sería importante extender el análisis para incorporar este efecto, y obtener así una visión más realista de la huella energética de nuestro país, lo cual permitiría enmarcar mejor el alcance de las actuaciones planteadas.

# La aplicación de inteligencia a la operación de los motores eléctricos y a la logística de los procesos industriales proporciona un importante potencial de reducción del consumo.

## 6.1

### Situación actual y estructura energética

Por lo que respecta a la estructura energética actual del sector industrial en España, la figura 149 muestra la participación de las distintas fuentes energéticas a la cobertura de la demanda final de energía del sector según el balance de la AIE para el año 2007.

La estructura de la demanda de servicios energéticos en términos de calor y electricidad está actualmente dominada por los requerimientos de calor respecto a los de electricidad, con una creciente electrificación del sector (datos Eurostat).

## 6.2

### Medidas de eficiencia

El primer elemento diferencial a tener en cuenta del sector industria es la importante trayectoria de incorporación de medidas de eficiencia en sus procesos, motivo por el que a priori no cabe esperar grandes reducciones en la demanda energética del sector. A continuación se profundiza sobre algunos de estos elementos incorporados en el contexto E3.0.

#### 6.2.1 Motores y procesos industriales inteligentes

Los procesos industriales son, por lo general, procesos complejos en los que interactúan o coexisten distintos flujos energéticos en condiciones variables a lo largo del tiempo.

La integración de procesos para potenciar las sinergias entre distintos procesos que acontecen de forma simultánea, fundamentalmente mediante la maximización de la recuperación térmica entre procesos y el acoplamiento adecuado entre sus niveles térmicos para evitar degradaciones energéticas, puede proporcionar todavía un potencial significativo de mejora en las industrias españolas.

Los motores eléctricos constituyen una componente muy importante en la demanda de energía eléctrica dentro de la industria. La aplicación de inteligencia a la operación

Figura 149 Participación de distintos recursos energéticos a la cobertura de la demanda final del sector industrial en España el año 2007 según el balance de la AIE.

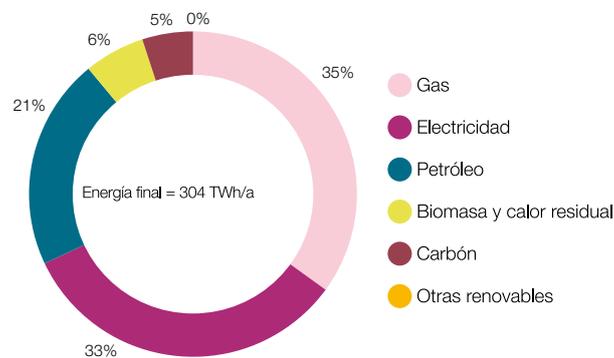
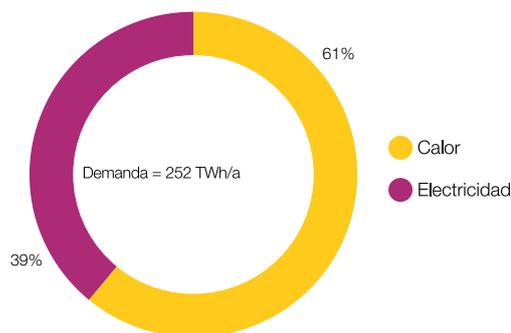


Figura 150 Estructura de la demanda energética del sector industria en términos de demanda de calor y de electricidad. Elaborado a partir de los datos del balance de la AIE para el año 2007. Considerando un rendimiento medio del 75% para la generación de calor, e incluyendo las pérdidas térmicas por distribución de calor dentro de la demanda de calor.



de estos motores proporciona un importante potencial de reducción del consumo, al igual que la aplicación de inteligencia a la logística de los procesos industriales.

#### 6.2.2 Electrificación de la demanda térmica

Además de las mejoras de rendimiento por cambio del proceso que aparecen en algunos sectores industriales,

la electrificación de la demanda térmica proporciona un potencial de eficiencia que va más allá, debido fundamentalmente a dos elementos: las bombas de calor y la reducción de las pérdidas de distribución.

Por lo que respecta a las **pérdidas en distribución** la ventaja de la electrificación está en poder transportar la energía en forma eléctrica hasta el punto final en el que se solicita la demanda térmica. En el proceso tradicional la generación térmica centralizada se distribuye mediante tuberías, a menudo en forma de vapor, hasta los distintos puntos dentro de la industria, lo que incurre en unas pérdidas por distribución considerablemente superiores, debido tanto a las propias pérdidas térmicas durante el transporte del fluido caliente por las tuberías, como a las fugas de vapor, los condensados, y a los diferentes saltos térmicos en los distintos puntos de demanda. Se llega a cifrar el conjunto de estas pérdidas térmicas asociadas al transporte en forma de vapor en un 48% del aporte de combustible, a lo que se debe añadir el rendimiento de la caldera. La electricidad permite un transporte mucho más eficiente de esta energía hasta los puntos de consumo, para luego convertir esa electricidad en energía térmica con un rendimiento que puede oscilar entre el 100 % para un proceso resistivo, hasta valores del orden del 800 % al emplear bombas de calor en procesos recuperativos.

Además, en el contexto E3.0 de un sistema energético integrado operando al 100 % con energías renovables, esta electrificación de la demanda térmica permite aprovechar electricidad 'residual' procedente de los

requerimientos de regulación del sistema de generación eléctrica para ajustar la generación a la demanda.

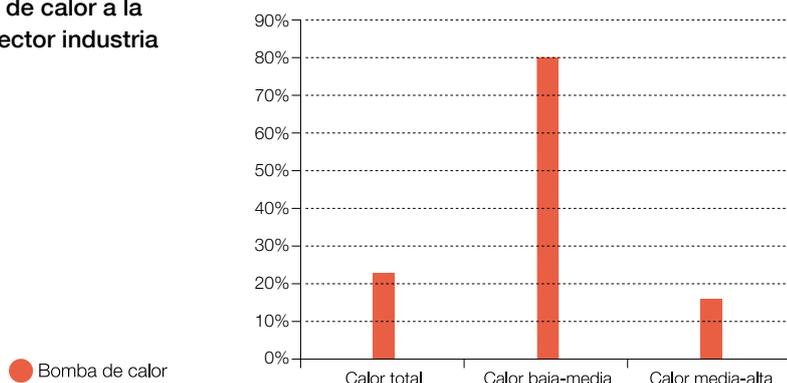
Por último, la electrificación de la demanda térmica del sector industrial permite que dicho sector tenga un mayor potencial de participación en la gestión de la demanda, y por tanto en la regulación del sistema de generación.

Por lo que respecta a las **bombas de calor**, en un contexto de un sistema energético integrado alimentado por un sistema eléctrico suministrado con energías renovables, las bombas de calor constituyen una tecnología muy apropiada en distintos sectores energéticos. En particular, en el sector industrial se abren muchas aplicaciones importantes para las bombas de calor, acotadas tan solo por los niveles del salto térmico requerido por la aplicación, pues el COP de las bombas de calor cae rápidamente con este salto térmico.

Entre las distintas aplicaciones en las que puede considerarse la bomba de calor en el sector industrial, destacan por su elevado rendimiento las aplicaciones recuperativas en que la bomba de calor se emplea para generar energía térmica a partir de un efluente de calor residual, o incluso para proporcionar simultáneamente dos efectos útiles al enfriar un fluido con la energía necesaria para calefactar otro a mayor nivel térmico.

En el contexto E3.0 del sector industrial se emplean extensamente las bombas de calor para cubrir un total del orden del 24 % de la demanda térmica en este sector, distribuido a través de un 81 % de la demanda de baja-media temperatura y un 16 % de la demanda de media-alta temperatura.

Figura 151 Contribución de las bombas de calor a la cobertura de la demanda térmica del sector industria en el contexto E3.0.



### 6.2.3 Aportes renovables autónomos

En el sector industria se recurre además a los aportes renovables térmicos autónomos que proporcionan la biomasa y la solar térmica. A diferencia de lo que sucedía en otros sectores como la edificación, en el sector industrial se considera adecuado incluir dichos aportes térmicos renovables autónomos, debido a varios factores como: por un lado, no siempre es posible acceder con bombas de calor a la gran variedad de niveles térmicos del sector industria, y por otro lado, hay menos disponibilidad de electricidad 'residual' procedente del proceso de regulación del sistema eléctrico, debido a que los elevados niveles de eficiencia alcanzados en los otros sectores consumidores de energía conducen a un menor requerimiento de potencia instalada en el sistema de generación eléctrica.

Dada la escasez del recurso de biomasa y la necesidad de apoyarse ella en otros sectores, se opta por un lado por apurar las posibilidades de la solar térmica, y por otro lado por limitar aquellas aplicaciones de cogeneración que conducen a un mayor requerimiento de biomasa para una demanda térmica dada.

En cuanto a la **biomasa**, en el sector industria, se ha empleado tanto para alimentar a aplicaciones de cogeneración, vía gasificación de la biomasa, que por un lado proporcionan una cobertura parcial de la demanda

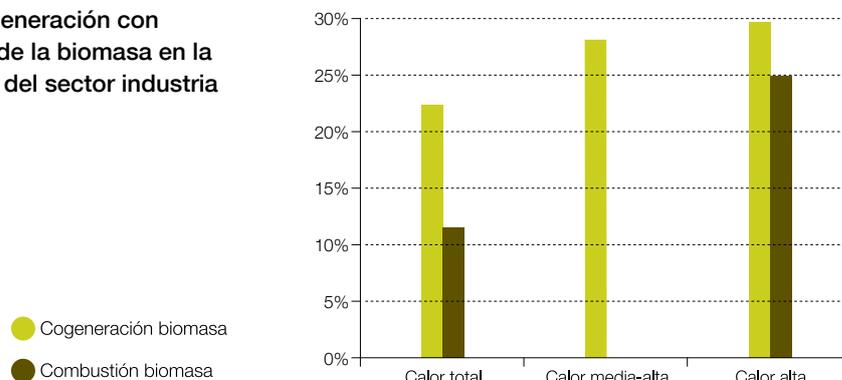
eléctrica del sector y por otro lado apoyan en la cobertura de la demanda térmica, como para aplicaciones por combustión directa en el rango de mayor temperatura de la demanda de calor. La ventaja de las aplicaciones por combustión directa es que requieren menos de la mitad de biomasa para cubrir la misma demanda térmica, y además, en las aplicaciones térmicas de alta temperatura, queda muy poco o ningún margen para la generación eléctrica. Por estos motivos se combinan en el estudio ambas aplicaciones de la biomasa.

Para las aplicaciones de cogeneración, se consideran cogeneraciones con biomasa gasificada, con un rendimiento de gasificación del orden del 80 %, un rendimiento total de la cogeneración del 95 %, y relaciones electricidad/calor que se reducen con el nivel térmico de la demanda a cubrir.

Para las aplicaciones de combustión directa de la biomasa hemos considerado un rendimiento del 95 %.

Por lo que respecta a la cobertura de la demanda térmica total del sector industria, la cogeneración con biomasa contribuye en un 23 %, repartida entre un 28 % de la cobertura del calor de media-alta y un 30% del calor de alta, mientras que la combustión directa de la biomasa en un 12 % de la demanda total térmica, localizada en un 25 % de cobertura de la demanda de calor de alta temperatura. La figura 152 recoge estos resultados.

Figura 152 Participación de la cogeneración con biomasa y la combustión directa de la biomasa en la cobertura de la demanda térmica del sector industria en el contexto E3.0.



En cuanto a la **solar térmica**, mientras que en el sector industria los niveles térmicos accesibles a las bombas de calor constituyen tan solo una fracción del total de la demanda térmica, la solar térmica dispone de

tecnologías para acceder prácticamente a todos los niveles térmicos.

Por tanto, en los niveles térmicos no accesibles a las bombas de calor, la solar térmica se encuentra tan

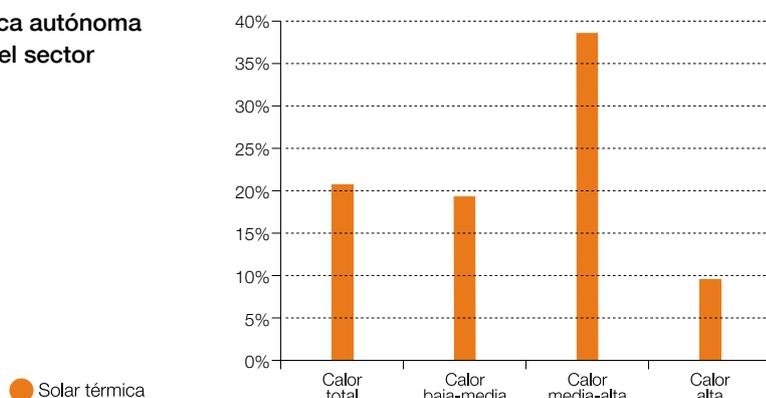
solo con la competencia del uso por efecto Joule de la electricidad residual asociada a la regulación del sistema eléctrico. El uso de electricidad residual resulta prioritario a la solar térmica por sus menores costes, pero debido a su COP = 1 tiene capacidad de cubrir una menor fracción de la demanda.

Si a esto se le añade que el nivel de eficiencia alcanzado en los demás sectores conducen a una demanda de electricidad considerablemente inferior a lo que exigiría un contexto BAU en demanda, se llega a la conclusión de que además del aprovechamiento de esta electricidad residual, el sector industria requerirá de aportes energéticos adicionales para dar cobertura completa a su demanda de calor. Y en un contexto E3.0 estos aportes adicionales, si se excluye la solar térmica, tan solo pueden venir de la biomasa o de la generación de hidrógeno vía electricidad renovable. Puesto que por

un lado el recurso de biomasa es limitado, y por otro lado la introducción del vector hidrógeno conduce a una significativa penalización energética sobre el sistema, la energía solar térmica en el sector industrial surge como una opción tecnológica apropiada para reducir los requerimientos de biomasa e hidrógeno.

Para el desarrollo del contexto E3.0 se considera la participación de la solar térmica para cubrir un 19% de la demanda de calor de baja-media temperatura, un 39% de la demanda de calor de media-alta temperatura y un 10% de la demanda de calor de alta. En conjunto el aporte de la solar térmica en el contexto E3.0 cubre un 21% de la demanda total de calor y un 10% de la demanda total de calor y electricidad en este sector. La figura 153 recoge las contribuciones de la solar térmica autónoma a la cobertura de la demanda térmica del sector industria en el contexto E3.0.

**Figura 153 Participación de la solar térmica autónoma en la cobertura de la demanda térmica del sector industria para el contexto E3.0.**



#### 6.2.4 Desmaterialización

La desmaterialización de la economía dará lugar a la reducción de necesidades de fabricación de productos con soporte material, lo que puede aportar una reducción significativa de consumo en el sector industrial.

De igual forma, algunos de los planteamientos realizados en el contexto E3.0 contribuyen a reducir la demanda de productos materiales mediante la evolución de la economía de la situación actual en la que se encuentra, basada en la venta de productos, a un sistema económico inteligente basado en la venta de servicios y alineado por tanto con los requerimientos de eficiencia. En este sentido, el despliegue del sistema de transporte

inteligente que se apunta para el contexto E3.0 conduce a una reducción muy importante de los requerimientos de producción de vehículos, y puede conducir a una significativa reducción de la demanda de energía en el sector industrial. Incluso además de las interacciones directas del planteamiento E3.0 en otros sectores, los cambios de actitud de la sociedad respecto a las implicaciones energéticas de sus decisiones, también tiene un importante potencial de reducción del consumo de energía en todos los sectores.

En el desarrollo del contexto E3.0 no se ha incorporado la mayoría del potencial de estos elementos de desmaterialización sobre la elaboración de los escenarios correspondientes.

# La solar térmica dispone de tecnologías para acceder prácticamente a todos los niveles térmicos.

## 6.3

### Escenario de continuidad

Para la elaboración del escenario BAU se ha partido de la situación inicial reflejada por los valores de consumo energético en el sector industria del balance de la AIE en el año 2007, actualizándolo al 2008 con el dato disponible de Eurostat. En el desarrollo del escenario BAU se ha recogido el retroceso ocasionado por la

crisis en el crecimiento de la demanda de energía en el sector industrial. Posteriormente a la depresión el BAU de industria vuelve a recuperar un cierto crecimiento del consumo de energía. Así mismo se desarrolla un escenario de electrificación BAU del sector industrial, con una tendencia creciente a la electrificación apoyada por la evolución histórica y por las tendencias que cabe esperar en este sector. Las figuras 154 y 155 recogen el escenario BAU de energía total per cápita y el reparto de energía final entre electricidad y energía para generación de calor.

Figura 154 Escenario BAU de energía final per cápita para el sector industria.

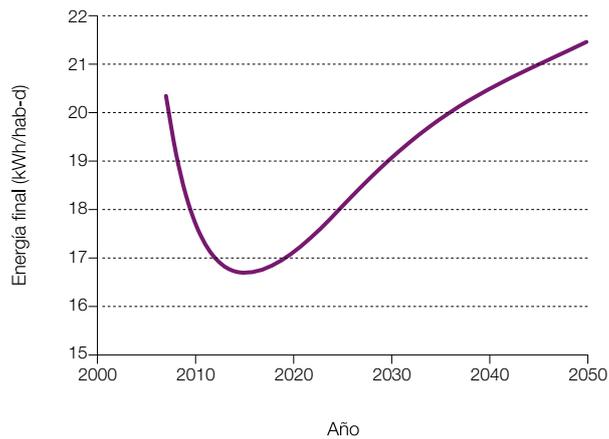
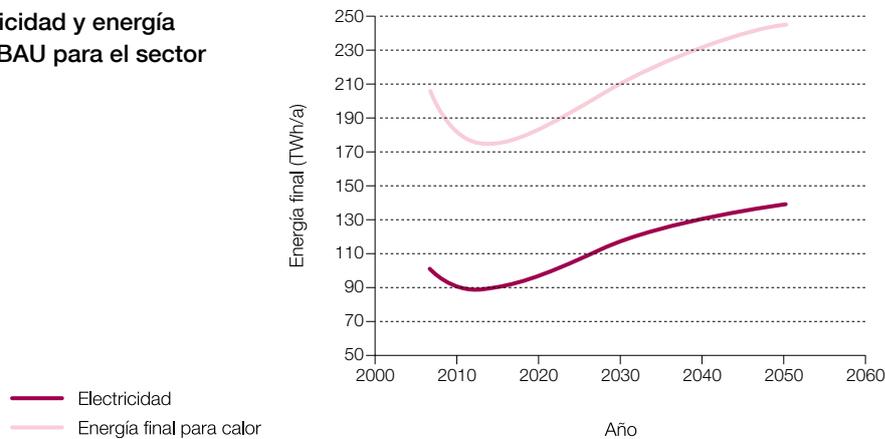


Figura 155 Reparto entre electricidad y energía final para calor en el contexto BAU para el sector industrial.



## 6.4

### Escenario de eficiencia

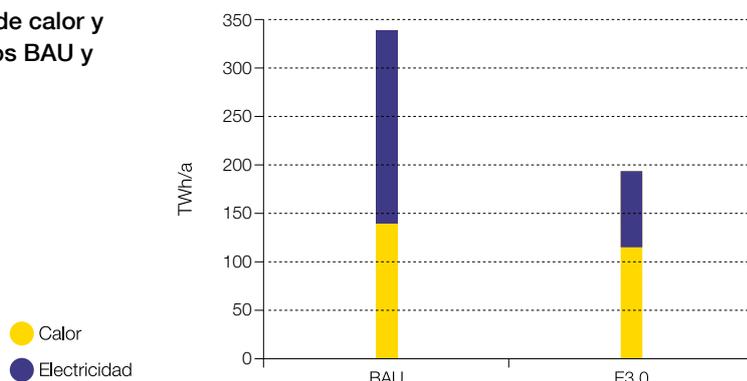
Para el escenario E3.0 se parte de la demanda de energía final en el contexto BAU para el año 2050 y su descomposición entre electricidad y calor, y se le aplica las medidas de eficiencia anteriormente comentadas para determinar la demanda final y su estructura en el contexto E3.0 en el año 2050.

Por lo que respecta a la evolución de la demanda asociada a la tecnología E3.0, el periodo de depresión

hace que ya no se recuperen las tasas de crecimiento positivo, ya que empalma las tasas decrecientes asociadas a la depresión con las tasas crecientes de introducción de eficiencia.

Debido a que bastantes de las medidas de eficiencia contempladas para el contexto E3.0 implican una migración de la energía final hacia la electricidad, la electrificación en el contexto E3.0 crece significativamente. La figura 156 recoge la comparativa entre las demandas de electricidad y calor en los contextos BAU y E3.0 para el año 2050.

**Figura 156 Comparativa de las demandas de calor y electricidad en año 2050 para los contextos BAU y E3.0.**



Por lo que respecta a la cobertura de la demanda térmica en el contexto E3.0, las figuras 157 y 158 muestran la contribución de las distintas tecnologías consideradas, para cubrir la demanda total (figura 157) diferenciando en baja, media y alta temperatura (figuras 158, 159 y 160). Se puede observar en las figuras que la cogeneración con biomasa cubre del orden del 22 % de la demanda de energía térmica, mientras que la combustión directa de la biomasa cubre un 11% (localizada en la región de demanda de alta temperatura, donde la combustión directa de la biomasa aporta un 25 % de la cobertura de la demanda). La solar térmica cubre del orden del 21 % de la demanda de energía térmica, distribuido en un 19 % de la cobertura de la demanda de calor de baja y media

temperatura, un 39 % de la demanda de calor de media-alta temperatura, y un 10 % de la demanda de calor de alta temperatura.

Las bombas de calor se introducen de forma importante dentro del sector industrial para la cobertura de la demanda térmica de los procesos con niveles acotados de temperatura, y así sacan provecho del potencial de eficiencia y recuperativo de esta tecnología. En su conjunto, las bombas de calor cubren en el contexto E3.0 del orden del 24 % de la demanda de energía térmica en el sector industrial, con un peso mucho más importante (81 %) dentro de la demanda de baja y media temperatura.

**Los cambios de actitud de la sociedad respecto a las implicaciones energéticas de sus decisiones también tienen un importante potencial de reducción del consumo de energía en todos los sectores.**

Figura 157 Contribución de las distintas tecnologías a la cobertura de la demanda térmica del sector industria en el contexto E3.0.

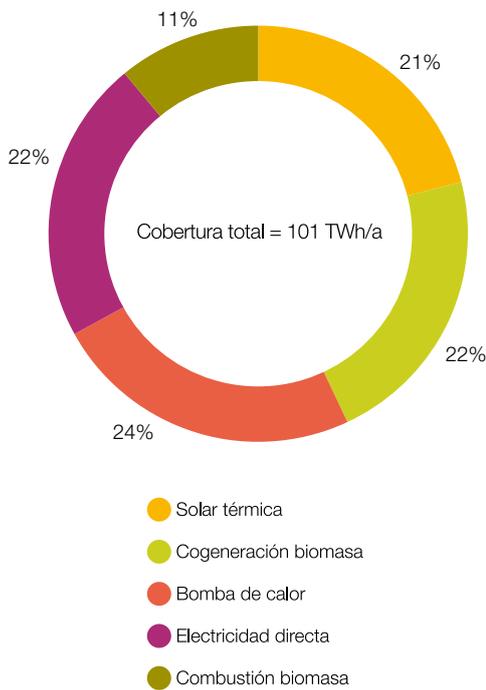


Figura 159 Contribución de las distintas tecnologías a la cobertura de la demanda térmica de media-alta temperatura del sector industria en el contexto E3.0.

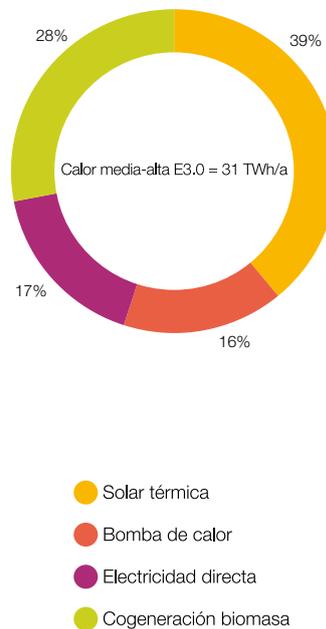


Figura 158 Contribución de las distintas tecnologías a la cobertura de la demanda térmica de baja-media temperatura del sector industria en el contexto E3.0.

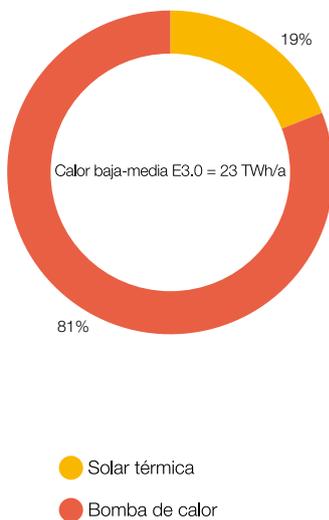
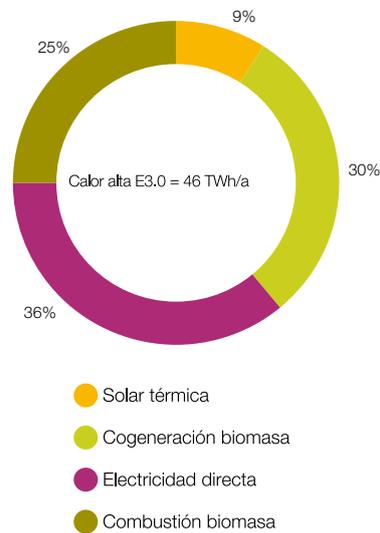


Figura 160 Contribución de las distintas tecnologías a la cobertura de la demanda térmica de alta temperatura del sector industria en el contexto E3.0.

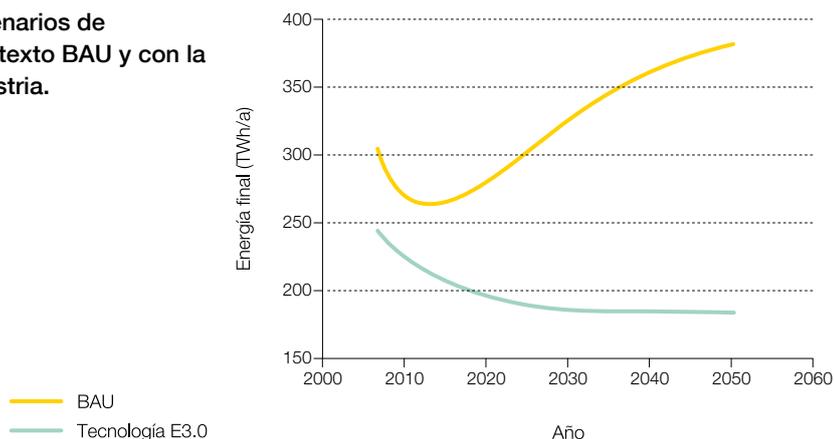


La gran diversidad de niveles térmicos de la demanda, la imposibilidad de cubrirlos todos ellos con bombas de calor, y los elevados niveles de eficiencia e inteligencia desplegados en los demás sectores para el contexto E3.0 (que conducen a una limitación del requerimiento de potencia eléctrica instalada y por tanto de disponibilidad de electricidad 'residual' procedente de los requerimientos de regulación del sistema eléctrico), hacen que las tecnologías renovables autónomas como la solar térmica y la biomasa adquieran un mayor protagonismo en el contexto E3.0. Dadas las limitaciones

del recurso de biomasa y su potencial impacto sobre la ocupación del territorio, se ha planteado un escenario que apura las posibilidades de la solar térmica y que limita la participación de la cogeneración (por su mayor requerimiento de biomasa para cubrir una demanda térmica dada).

La figura 161 nos muestra la comparativa entre la evolución de la demanda de energía final del sector industria en el contexto BAU y la asociada a la tecnología E3.0.

**Figura 161 Comparativa de los escenarios de demanda de energía final en el contexto BAU y con la tecnología E3.0 para el sector industria.**



## 6.5 Escenarios de transición

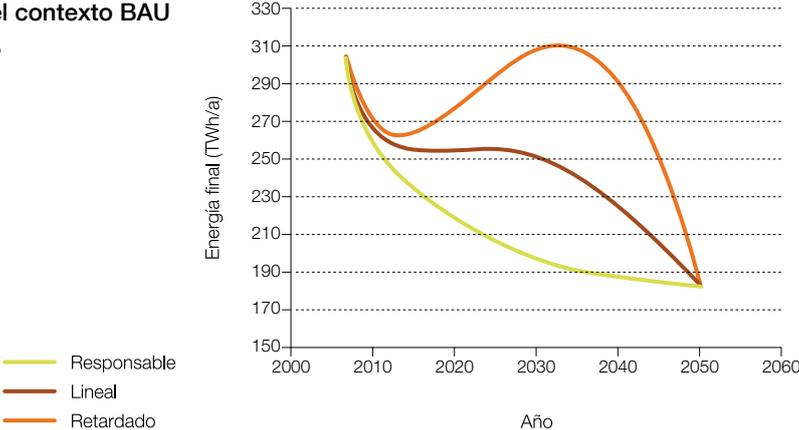
la transición desde el contexto BAU al E3.0 puede seguir distintas trayectorias según la evolución de los sistemas político, económico y social. En línea con los otros sectores, en la figura 162 se muestran los escenarios de transición resultantes de la aplicación de las tasas retardada, lineal o responsable para desarrollar esta transición.

Es de resaltar el acusado pico interior<sup>32</sup> de consumo que se genera con el escenario retardado en torno al año 2035, así como las elevadas tasas de reducción que habría que mantener posteriormente durante periodos de tiempo muy elevados. Por el contrario, en el escenario responsable las tasas elevadas de reducción se encuentran limitadas a un corto periodo inicial, en el que aprovechando el tirón de la recesión ocasionada por la crisis se podría desplegar el cambio de una forma mucho menos costosa.

<sup>32</sup> Estos picos interiores tienen como consecuencia el requerimiento de sobredimensionar tanto el sistema de generación como el de distribución de energía, respecto a lo que sería finalmente necesario, con los correspondientes impactos asociados al desarrollo de esta infraestructura.

Debido a que bastantes de las medidas de eficiencia contempladas para el contexto E3.0 implican una migración de la energía final hacia la electricidad, la electrificación crece para este contexto significativamente.

Figura 162 Escenarios de transición del contexto BAU al contexto E3.0 en el sector industria.



Placas solares en un punto limpio de Rivas. Rivas fue, en 2003, el primer municipio de la Comunidad de Madrid productor de electricidad generada por el sol, a través de un plan que preveía la instalación de placas fotovoltaicas en catorce centros públicos.

©AYUNTAMIENTO DE RIVAS

