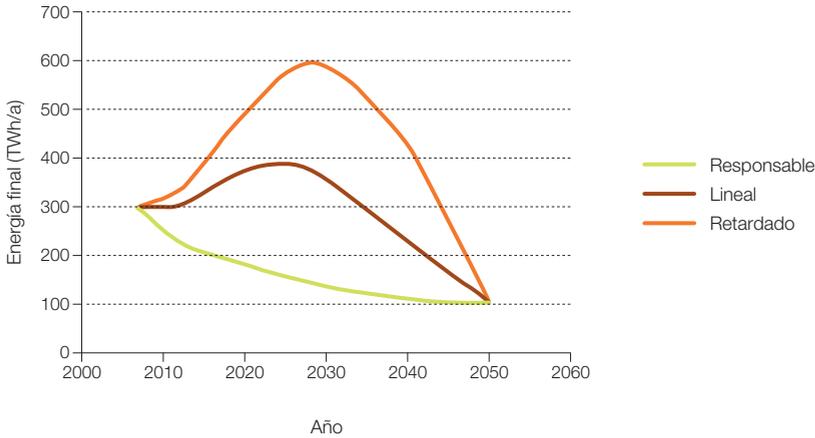


**Figura 482.** Escenario de evolución del consumo de energía final del conjunto del parque edificatorio para los tres escenarios de transición desde el contexto BAU al E3.0 considerados.



Según estos resultados y a los escenarios de evolución de la superficie construida anteriormente presentados, podemos elaborar los escenarios de evolución del consumo de energía final en el contexto BAU, y el correspondiente a las posibilidades tecnológicas que nos ofrece el contexto E3.0, para el cual se ha considerado que el ratio de internalización de la demanda de servicios energéticos en el sector edificación es el mismo que en el BAU. La figura 481 nos recoge estos resultados.

Según estos resultados e introduciendo las distintas hipótesis de transición desde el contexto BAU al E3.0 anteriormente presentadas, obtenemos los tres escenarios de evolución de la demanda de energía final en el sector edificación en la transición desde el contexto BAU al contexto E3.0. Como podemos observar en la figura 482, en los escenarios de transición retardado y lineal, obtenemos un pico de consumo del sector edificación del orden de cuatro veces el consumo del año 2050 en torno al año 2025

para el escenario lineal de transición, y del orden de seis veces en torno al año 2030 para el escenario retardado de transición. Tan solo el escenario responsable de transición permite una evolución decreciente de la demanda del sector edificación a lo largo de todo el periodo considerado, y libera, por tanto, al sistema energético y en particular al sistema eléctrico para integrar otros componentes de consumo como el sector transporte, sin requerir un gran sobredimensionado del sistema eléctrico con sus costes e impacto ambiental asociados.

### 3.8 Sector industria

En este punto desarrollamos y presentamos los escenarios asociados al sector industria.

Empezamos exponiendo una serie de aspectos generales para ubicar el tratamiento que vamos a dar a este sector energético en relación al tratamiento que proporcionamos al resto de sectores.

### 3.8.1 Generalidades

El sector Industria presenta una serie de características diferenciales respecto a los otros dos sectores (transporte y edificación) analizados en los puntos anteriores, lo cual ha condicionado el tratamiento que le hemos dado en este informe.

En efecto, el sector industria no constituye un sector difuso como los otros dos, por lo que su seguimiento y caracterización ha sido históricamente mucho más cercano para este sector que para los sectores difusos. Esta mayor centralización ha contribuido también a que el grado de exigencias regulatorias sobre el sector industria haya sido superior al de los sectores difusos.

Por otro lado, la aplicación de medidas de eficiencia en el sector industria ha sido muy anterior a la aplicación de este tipo de medidas sobre los sectores difusos, por la vinculación directa de estas medidas con la generación de beneficio económico a gran escala. 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 participar activamente en este campo mediante los contratos de servicio de gestión de la demanda de interrumpibilidad<sup>820</sup>.

De cara al desarrollo futuro de la estructura de nuestro sistema energético, el sector industria

que en términos de energía final ya es en la actualidad menos importante que los sectores transporte y edificación, cabe esperar que la importancia relativa del sector industria frente a los otros dos sectores en un contexto BAU vaya haciéndose 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 proporcionado 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 mucha menos incertidumbre e incógnitas de las que enfrentamos en los sectores difusos. Por este motivo, hemos 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.

Sin embargo, en el sector industria sí que hay un elemento de distorsión a menudo no considerado y que puede tener un efecto relevante. Se trata de la tendencia a desplazar la actividad industrial hacia terceros países, redirigiendo la actividad económica hacia la prestación de servicios, e importando una cantidad

<sup>820</sup> Regulada por la Orden ITC/2370/2007 con entrada en vigor el 1 de julio de 2008.

creciente de productos industrializados en terceros países. La energía almacenada<sup>821</sup> en estos productos importados, más allá de la correspondiente al proceso de transporte<sup>822</sup> desde el país de manufactura al país de destino, significa una contribución importante al consumo energético en el país receptor que se traslada por completo al balance energético del país productor de esos bienes de consumo.

Esta situación se produce también en términos de balances de emisiones, en que los denominados países desarrollados externalizan emisiones hacia economías emergentes, que por la deslocalización de la industria pasan a convertirse en las fábricas del mundo. En (MacKay, J. C. D., 2008) se presenta una contabilización de este efecto para el caso del Reino Unido, donde las emisiones per cápita oficiales son del orden de 11 tCO<sub>2</sub>-eq/hab-a, y al contabilizar el efecto de todos los bienes de consumo importados pasan a ser de 21 tCO<sub>2</sub>-eq/hab-a, es decir, experimentan un incremento del 91%, prácticamente doblándose.

En este estudio no hemos intentado abarcar este 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. Pero consideramos 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 que permitiría enmarcar mejor el alcance de las actuaciones planteadas.

Por otro lado, tecnologías como la solar térmica y la cogeneración, que en otros sectores no se perfilaban como las mejores opciones tecnológicas desde la perspectiva de la integración del sistema energético, en el

sector industria aparecen como tecnologías apropiadas para limitar el consumo de biomasa en este sector y, por tanto, hemos recurrido a ellas para configurar el contexto E3.0, junto a otras tecnologías como las bombas de calor, todas ellas actuando con posterioridad a desplegar las medidas de eficiencia disponibles. En conjunto, el potencial de reducción de la demanda de energía final que cabe esperar en este sector, sin llegar a alcanzar la magnitud de los sectores difusos, es importante, y como veremos necesaria para acotar los requerimientos de biomasa dentro del alcance de los recursos disponibles.

### 3.8.2 Situación actual y estructura energética

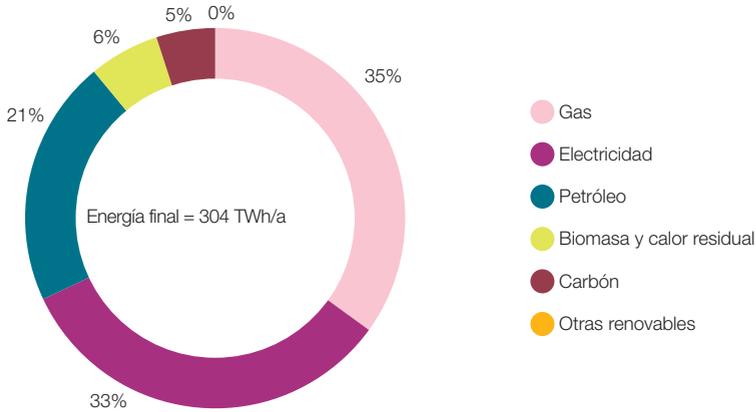
Por lo que respecta a la estructura energética actual del sector industrial en España, la figura 483 nos muestra la participación de las distintas fuentes energéticas a la cobertura de la demanda final de energía del sector, según el balance de la AIE para el año 2007.

Pero más allá de la estructura de la demanda en términos de la energía final actualmente empleada, nos interesa conocer la estructura de la demanda en términos de servicios energéticos solicitados, pues la modificación de las tecnologías a emplear para la cobertura de estos servicios puede afectar significativamente a la estructura de la demanda en términos de energía final. Separando los servicios energéticos entre aquellos que requieren electricidad y los que requieren energía térmica (calor), considerando un rendimiento medio de la generación de calor a partir de combustibles fósiles del 75% como representativo de la situación en el año 2007, e incluyendo dentro de la demanda de calor la correspondiente a las pérdidas térmicas asociadas a la distribución de

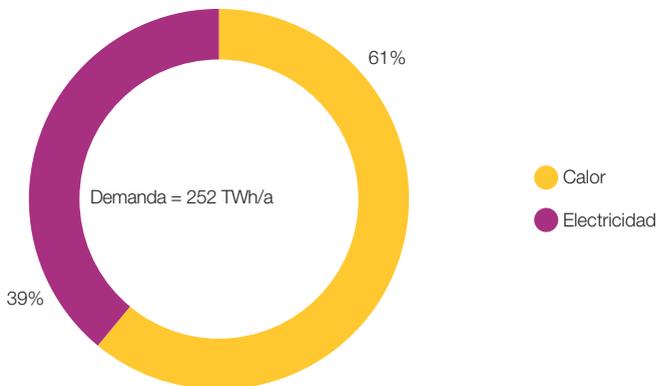
<sup>821</sup> Embodied Energy.

<sup>822</sup> Que a menudo tampoco se contabiliza en el balance energético del país receptor.

**Figura 483.** 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 484.** 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.



esta energía térmica<sup>823</sup>, en la figura 484 podemos observar la estructura de la demanda de servicios energéticos en términos de calor y electricidad, pudiendo comprobar que la demanda de este sector está actualmente dominada por los requerimientos de calor respecto a los de electricidad.

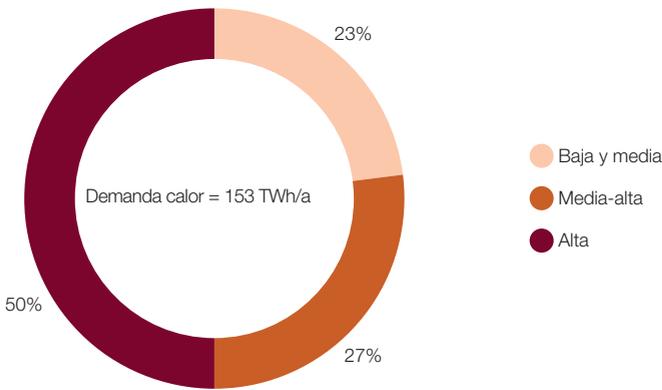
Desde el punto de vista de la consideración de tecnologías para cubrir la demanda de este sector, tiene relevancia el conocer la estructura por niveles de temperatura de la demanda de calor en el sector industrial. En efecto, tecnologías como la solar térmica y las bombas de calor ven limitadas sus prestaciones con el

<sup>823</sup> Las pérdidas asociadas a la distribución de energía térmica pueden ser importantes, especialmente si se emplea vapor para la distribución, y realmente no constituyen una componente directamente ligada a la demanda del servicio energético, sino más bien a la elección de la tecnología para cubrirlo. En un contexto E3.0 parte de estas pérdidas se podrían eliminar al sustituir la distribución térmica por una distribución eléctrica.

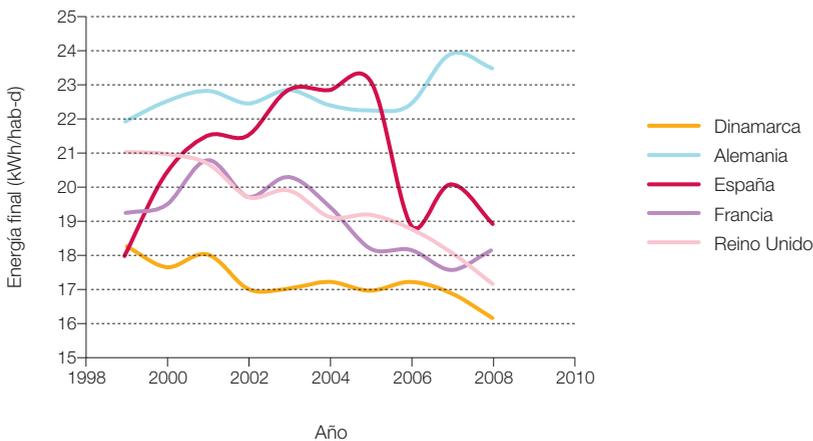
nivel térmico de la demanda a cubrir. En la figura 485 reproducimos esta estructura tomando como válida la presentada en (IDAE, 2001)<sup>824</sup>. La clasificación de los distintos rangos de temperatura es la siguiente:

Baja:	< 60 °C
Media:	60 °C-150 °C
Media-alta:	150 °C-250 °C
Alta:	>250 °C

**Figura 485.** Distribución de la demanda de calor por rangos de temperatura. El total de la demanda es el correspondiente al balance de la AIE para el año 2007, y el reparto modal el que se deduce de (IDAE, 2001).

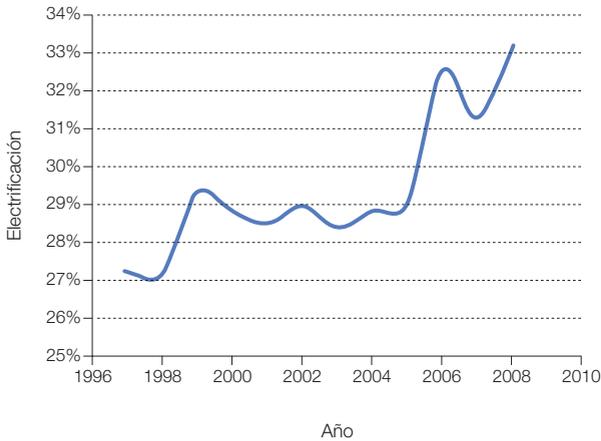


**Figura 486.** Evolución del consumo energético per cápita del sector industrial en España y distintos países del entorno (datos Eurostat).



<sup>824</sup> Esta referencia constituye la última oficial destinada a analizar la estructura del sector industrial desde la perspectiva de integración de energía solar térmica. Nos consta que recientemente se ha elaborado otro estudio encargado por el IDAE con vistas a la preparación del nuevo PER, pero sus resultados no estaban disponibles al redactar este informe (10/2010).

**Figura 487.** Evolución histórica de la electrificación del sector industrial en España. Datos Eurostat.



Por lo que respecta a la evolución histórica y su comparativa con otros países del entorno, la figura 486 nos presenta la evolución del consumo energético per cápita del sector industrial en España y algunos países del entorno según datos Eurostat. En esta figura observamos, por un lado, la tendencia decreciente del consumo energético per cápita de este sector, debida a la incorporación de medidas de eficiencia, y a la desindustrialización de las economías, lo que desplaza el consumo energético para producción de bienes de consumo industriales hacia otros países<sup>825</sup>. La tendencia en España ha sido contraria, con un gran crecimiento hasta el año 2005, situándose con valores incluso superiores a los de Alemania, pero experimentando a partir de 2005 un gran decrecimiento para colocarse en el orden de magnitud de los otros países considerados. Desde la perspectiva de estos resultados, parece difícil plantearse incluso como escenario BAU para España, una tendencia creciente en el consumo del sector industrial tal y como hacen las referencias oficiales como la E4.

Otro elemento relevante de la estructura energética del sector industrial es su creciente electrificación tal y como recoge la figura 487.

### 3.8.3 Otros escenarios

La única referencia oficial por lo que respecta a escenarios de evolución del consumo de energía en el sector industria en nuestro país la constituye las E4<sup>826</sup>, tanto en sus documentos sectoriales del año 2003, como en el plan de acción 2008-2012 del año 2007<sup>827</sup>. La figura 488 nos recoge el escenario base y eficiente desarrollado en estas referencias para el sector industria que, como vemos, apunta a un crecimiento mantenido<sup>828</sup> del consumo de energía en este sector en contra de las tendencias que apuntábamos en el punto anterior<sup>829</sup>. Por lo que respecta al reparto subsectorial, en (IDAE, 2007) figura la evolución histórica que recogemos en la figura 489.

Otra referencia en la que se desarrolla un escenario de consumo energético para el año

<sup>825</sup> E importando posteriormente los productos manufacturados junto a su *embodied energy*.

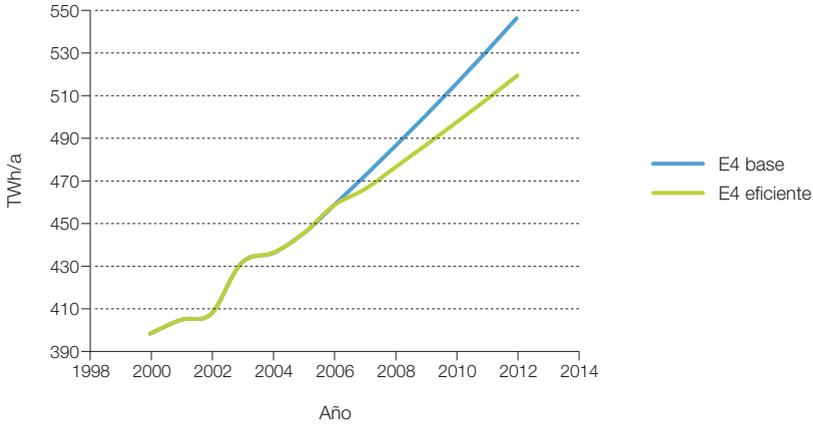
<sup>826</sup> Estrategia de ahorro y eficiencia energética en España 2004-2012 (IDAE, 2001).

<sup>827</sup> Es de destacar el hecho de que el sector industria es el único sector para el que el plan de acción 2008-2012 no introduce requerimientos de eficiencia adicionales (E4+).

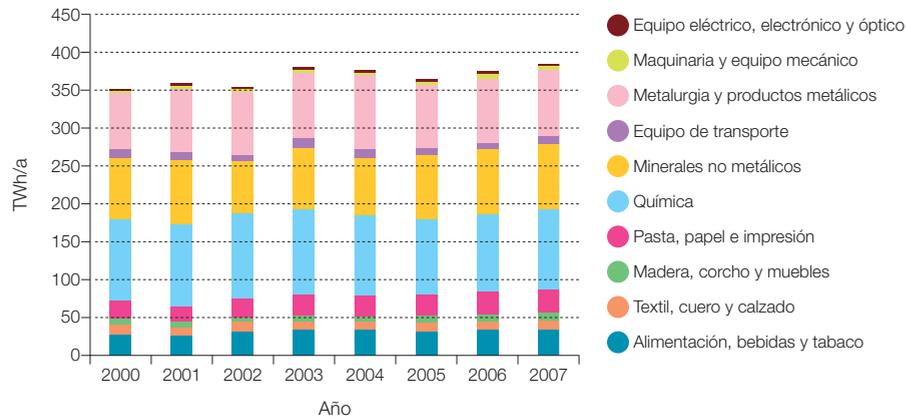
<sup>828</sup> Del 3%/a para el escenario base y reduciéndose hasta el 2,2%/a para el escenario eficiente.

<sup>829</sup> A este respecto resulta ilustrativo el hecho de que ya en 2007 el plan de acción tuvo que corregir a la baja el escenario base de la E4 por el menor consumo energético observado en el año 2005 respecto al del escenario base elaborado en la E4 (IDAE,2003).

**Figura 488.** Escenario base corregido y eficiente de la E4 para el consumo de energía final en el sector industria según el plan de acción 2008-2012 (IDAE, 2007).



**Figura 489.** Evolución de la estructura subsectorial del consumo de energía final en el sector industria. Datos (IDAE, 2007).

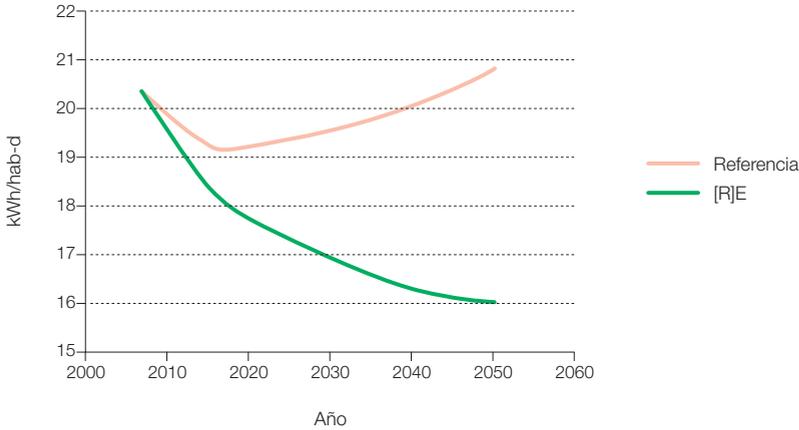


2050 en EE. UU. (Arjun Makhijani, 2008). El sector Industria, apoyándose en el hecho de que el consumo energético ha permanecido más o menos constante durante las últimas tres décadas, incluso sin la existencia de costes del CO<sub>2</sub> y grandes fluctuaciones en los precios de la energía, predice una evolución común a los escenarios BAU y eficiente con

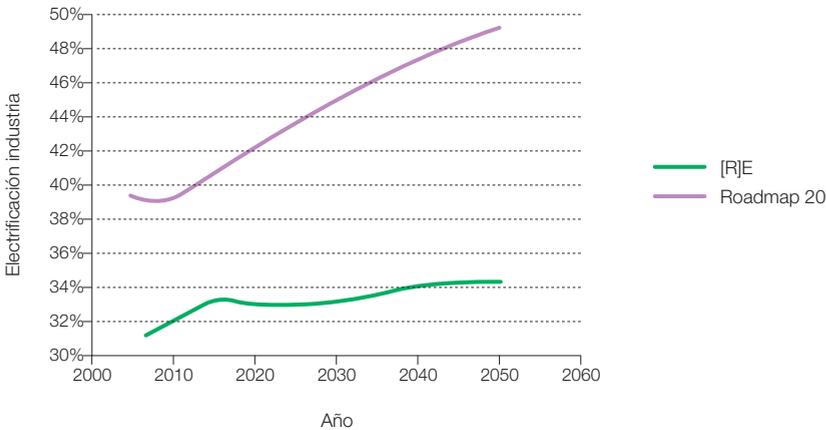
una reducción constante del -1%/a en el consumo de energía final de este sector.

Otro componente relevante desde el punto de vista de la elaboración de escenarios en el sector industrial es la consideración del episodio de crisis que se inició en el año 2008. En la figura 490, elaborada a partir de los

**Figura 490.** Evolución del consumo de energía final per cápita en el sector industria para el escenario de referencia y el eficiente ([R]E) en OCDE-Europa según (GP, 2010).



**Figura 491.** Escenarios de electrificación en el sector industria según (GP, 2010) para OCDE-Europa y ECF, 2010) para Europa.



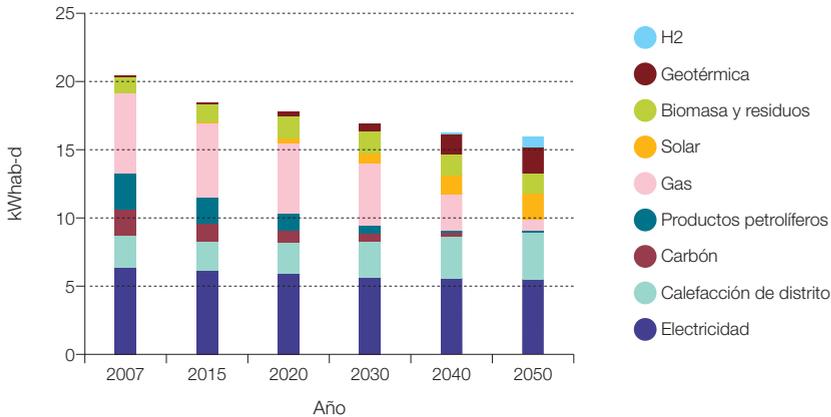
datos presentados en el informe [R]E (GP, 2010), vemos cómo se refleja el efecto de la crisis en la evolución del consumo energético per cápita del sector industrial para OCDE Europa. En el escenario de referencia<sup>830</sup> la depresión se prolonga hasta pasado el año 2015, mientras que en el escenario eficiente, ya no se recuperan las tasas

crecientes en el consumo de energía al iniciar el despliegue de las medidas de eficiencia en el periodo de crisis.

Por lo que respecta a los escenarios de electrificación en el sector industria, la figura 491 nos presenta los resultados de los escenarios desarrollados en (GP, 2010) y (ECF,

<sup>830</sup> Este escenario de referencia coincide con el de la AIE hasta el año 2030.

**Figura 492.** Evolución de la estructura de la cobertura de la demanda para el sector industria en el escenario más eficiente de (GP, 2010) para OCDE-Europa.



2010). Como podemos observar, las tasas de electrificación son considerablemente distintas, pero en ambos casos se pronostica una tendencia creciente.

En (GP, 2010) se muestra también el reparto entre las distintas fuentes energéticas para cubrir la demanda de energía final en el sector industria. La figura 492 recoge los resultados correspondientes al escenario más eficiente para OCDE-Europa. Para el año 2050 resulta interesante observar la participación de la geotérmica, el hidrógeno y la calefacción de distrito (DH)<sup>831</sup>, que a su vez está abastecido por energía solar, biomasa y geotérmica. En el caso del escenario E3.0 que nosotros presentaremos aquí, la geotérmica no se ha empleado para el sector industrial dado el recurso relativamente limitado que se desprende en (GP, 2005), y los sistemas DH, que a diferencia de otros países europeos cuentan en España con un bajo despliegue, tampoco se han considerado<sup>832</sup> en el contexto E3.0 por constituir un enfoque centralizado<sup>833</sup> que duplica<sup>834</sup>, en gran medida, la infraestructura existente de la red eléctrica para el caso del sistema ener-

gético integrado, y resulta difícilmente justificable en estas condiciones la inversión asociada a la infraestructura adicional. Por lo que respecta al uso del hidrógeno, la mayor eficiencia energética que hemos considerado para el contexto E3.0 nos ha conducido a eliminar la participación de este vector energético en el sector industrial por sus penalizaciones energéticas. Por lo que respecta a la biomasa, su aplicación en el contexto E3.0 ha sido tanto mediante procesos cogenerativos vía gasificación, como mediante procesos de combustión directa para cubrir la demanda de alta temperatura sin disparar<sup>835</sup> los requerimientos de biomasa necesaria.

<sup>831</sup> DH: District Heating.

<sup>832</sup> La situación es distinta en países donde la infraestructura del DH ya se encuentra desplegada y por tanto, aunque en un contexto E3.0 con el sistema energético integrado suponga una duplicación de la infraestructura, la opción más eficiente es aprovecharla para la integración de renovables térmicas.

<sup>833</sup> Es más, con la dispersión del parque industrial en España la aplicación del DH se encuentra más limitada que en otros países donde las redes de DH han surgido para integrar el calor residual de instalaciones de cogeneración situadas a poca distancia de los puntos de consumo.

<sup>834</sup> En un contexto E3.0 con un sistema energético integrado y un sistema eléctrico inteligente, siempre resulta más eficiente y económico transportar la energía en forma eléctrica que en forma térmica hasta el punto de consumo.

<sup>835</sup> La cogeneración permite producir simultáneamente electricidad y calor, pero requiere de una mayor cantidad de biomasa para cubrir una demanda térmica dada, motivo por el cual resulta menos interesante al disponer de otras formas de cubrir la demanda térmica vía generación eléctrica con fuentes renovables. Por este motivo hemos limitado la participación de la cogeneración a ciertas aplicaciones de temperatura media.

### 3.8.4 Elementos para el contexto E3.0

En este apartado completamos la información proporcionada en los puntos anteriores sobre la configuración del contexto E3.0 para el sector industria.

#### 3.8.4.1 Consideraciones generales sobre el nivel de eficiencia

Un primer elemento diferencial a tener en cuenta es que, como ya comentamos anteriormente, el sector industria lleva ya una 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.

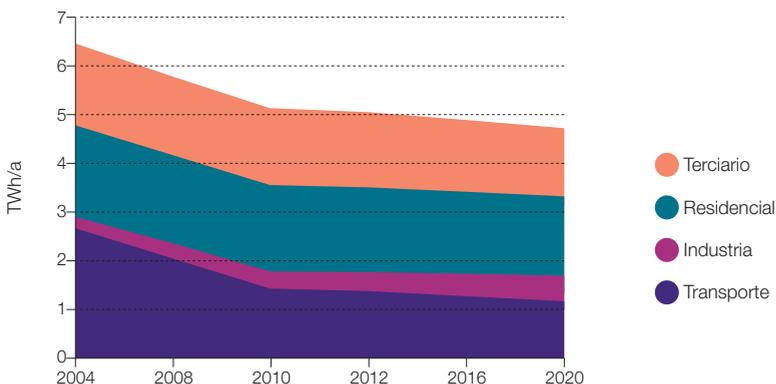
En (Energy Efficiency Watch, 2009) se recogen los resultados de la evaluación del potencial de ahorro sectorial a nivel de la UE-27 según se desprende del análisis de los planes de acción de eficiencia energética a nivel nacional. La figura 493 nos recoge estos resul-

tados, y en ellos podemos apreciar cómo el sector industria es el que proporciona un menor potencial de ahorro por introducción de medidas de eficiencia. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que, por ejemplo para España, la fuente de estos datos son los resultados de la E4, que como vimos anteriormente apuntaban a un ahorro limitado en este sector.

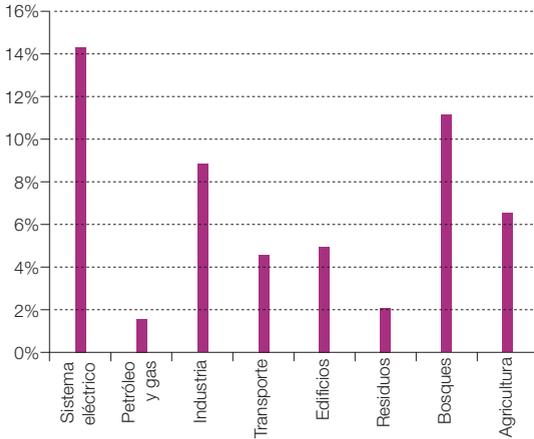
En (Fundación Entorno, 2009) se recoge la situación de los distintos sectores de la industria española en lo que respecta a los niveles de eficiencia de sus procesos, mostrando que los niveles de eficiencia actualmente desplegados en muchos subsectores industriales ya son muy elevados y comparables o mejores que los de los países de nuestro entorno económico.

Sin embargo, tal y como nos indica (McKinsey Company, 2009) todavía es posible explotar un significativo potencial de incremento de eficiencia en los procesos industriales. En efecto, la figura 494 nos muestra el reparto

**Figura 493.** Evaluación del potencial de ahorro en la UE-27 según se desprende de los planes de acción en eficiencia energética nacionales. Datos de (Energy Efficiency Watch, 2009).



**Figura 494.** Contribución sectorial al potencial global de reducción de emisiones de GEI. Datos (McKinsey Company, 2009).



sectorial del potencial de reducción de emisiones de GEI a nivel global, mostrando que el sector industrial en su conjunto dispone de un potencial importante.

Si a este potencial de eficiencia le añadimos otros elementos como la electrificación con bombas de calor y la contribución de la solar térmica para la cobertura de la demanda térmica, la cogeneración con biomasa, la aplicación de procesos inteligentes y la desmaterialización, al final podemos ver que en el sector industria tenemos un importante potencial de reducción de consumo. En los siguientes puntos profundizamos un poco más sobre algunos de estos elementos incorporados en el contexto E3.0.

#### 3.8.4.2 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 aconteciendo simultáneamente, 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 un componente muy importante en la demanda de energía eléctrica dentro de la industria. Tal como se indica en (The Climate Group, 2008), la aplicación de inteligencia a la operación 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.

#### 3.8.4.3 Electrificación de la demanda térmica

La electrificación de la demanda térmica proporciona un potencial de eficiencia que va

más allá de las mejoras de rendimiento por cambio del proceso que aparecen en algunos sectores industriales<sup>836</sup> 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 estriba en poder transportar la energía en forma eléctrica hasta el punto final en el que se solicita la demanda térmica, en lugar del proceso tradicional en el que la generación térmica centralizada se distribuye mediante tuberías, a menudo en forma de vapor, hasta los distintos puntos dentro de la industria en los que se solicita la demanda térmica, incurriendo en unas pérdidas por distribución considerablemente superiores, consecuencia tanto de las propias pérdidas térmicas durante el transporte del fluido caliente por las tuberías, como por las fugas de vapor, los condensados, y los diferentes saltos térmicos en los distintos puntos de demanda. En (HPTCJ, 2009) llegan 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.

#### 3.8.4.4 Bombas de calor

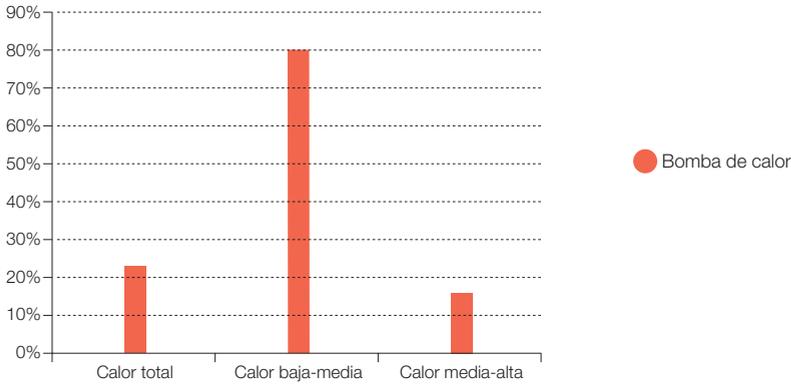
En un contexto de un sistema energético integrado alimentado por un sistema eléctrico alimentado con energías renovables, las bombas de calor constituyen una tecnología muy apropiada en distintos sectores energéticos. En el sector edificación ya vimos el papel que pueden llegar a jugar. Pero en el sector industrial se abren muchas aplicaciones importantes para las bombas de calor (HPTCJ, 2009), 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.

De 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 las 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 hemos empleado 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.

<sup>836</sup> Como la migración en la industria del hierro-acero del proceso BF/BOF al proceso EAF de arco eléctrico.

**Figura 495.** Contribución de las bombas de calor a la cobertura de la demanda térmica del sector industria en el contexto E3.0.



#### 3.8.4.5 Aportes renovables autónomos

En el sector industria, más allá del aporte renovable local de energía térmica ambiente que proporcionan las bombas de calor, hemos recurrido también 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, la gran variedad de aportes de niveles térmicos en el sector industria, y la imposibilidad de acceder a todos ellos con bombas de calor, junto con los elevados niveles de eficiencia alcanzados en los otros sectores, que conducen a un menor requerimiento de potencia instalada en el sistema de generación eléctrica, y por tanto a una menor disponibilidad de electricidad “residual” procedente del proceso de regulación, han hecho que consideráramos adecuado incluir aportes térmicos renovables autónomos.

Dada la escasez del recurso de biomasa y la necesidad de apoyarse en ella en otros sectores<sup>837</sup>, hemos optado, por un lado, por apurar las posibilidades de la solar térmica, y por otro lado por limitar las aplicaciones de

cogeneración que conducen a un mayor requerimiento<sup>838</sup> de biomasa para una demanda térmica dada.

#### 3.8.4.6 Biomasa

En el sector industria, la biomasa 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 hemos combinado ambas aplicaciones de la biomasa.

Para las aplicaciones de cogeneración, hemos considerado cogeneraciones con biomasa gasificada, con un rendimiento de

**837** Transporte y usos no energéticos, además de su papel como reguladora del sistema eléctrico mediante la hibridación termosolar.

**838** Aunque como contrapartida proporcionan una generación local de electricidad. Pero dado que el potencial de otras fuentes renovables es en España muy superior al de la biomasa (GP, 2005), no parece apropiado hacer que el sistema de generación eléctrica se apoye demasiado en la biomasa más allá de su contribución para la regulación articulando la potencia rodante de las centrales termosolares.

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 496 recoge estos resultados.

#### 3.8.4.7 Solar térmica

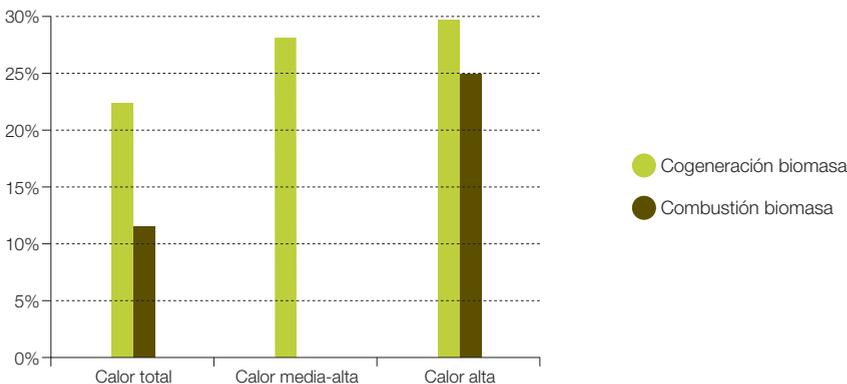
La energía solar térmica tiene capacidad de cubrir localmente parte de la demanda de calor en diversas aplicaciones industriales.

En el sector edificación veíamos que la solar térmica resultaba parcialmente<sup>839</sup> desplazada por la aplicación de las bombas de calor, que permitían una integración más eficiente con el conjunto del sistema energético.

Sin embargo, en el sector industria los niveles térmicos accesibles a las bombas de calor constituyen tan solo una fracción del total de la demanda térmica, mientras que 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<sup>840</sup> de la electricidad residual asociada a la regulación del sistema eléctrico, que si bien sigue resultando prioritaria 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 le añadimos que el nivel de eficiencia alcanzado en los demás sectores conducen a una demanda de electricidad considerablemente inferior a lo que exigiría un contexto

**Figura 496.** 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.



<sup>839</sup> Básicamente, la solar térmica seguía presente en el contexto E3.0 por el impulso que es previsible que reciba durante el proceso de transición debido a su implementación en el contexto BAU.

<sup>840</sup> Resistivo.

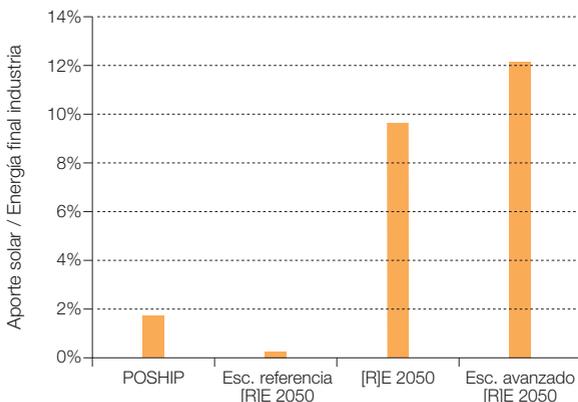
BAU en demanda, llegamos a la conclusión que más allá del aprovechamiento de esta electricidad residual, el sector industria requerirá de aportes energéticos adicionales para dar cobertura completa a su demanda de calor. Y en un contexto E3.0 estos aportes adicionales, excluyendo la solar térmica, tan 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<sup>841</sup>, 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.

En España, el estudio (IDAE, 2001) constituye la referencia oficial más reciente<sup>842</sup> relativa al potencial de la energía solar térmica en el sector industrial. Por otro lado, los escenarios para el año 2050 desarrollados en el marco del informe Energy [R]evolution de GP, también contemplan la participación de esta tecnología

para la cobertura de parte de la demanda térmica del sector industria. Tal y como podemos observar en la figura 497 la participación relativa de la solar térmica en los escenarios eficientes del [R]E para el conjunto de la OCDE-Europa son considerablemente superiores a los potenciales recogidos en el estudio POSHIP, a pesar de contar en España con un recurso solar significativamente mejor que la media de los países de OCDE-Europa.

Por rangos de temperatura, en la región de baja-media temperatura, la solar térmica se encuentra con las bombas de calor, que operando con COP muy elevados<sup>843</sup> constituyen una opción tecnológica muy eficiente e integrada con el conjunto del sistema energético. Sin embargo, las opciones de las bombas de calor se ven muy reducidas<sup>844</sup> en el rango de la media-alta temperatura, y son nulas en el rango de la alta temperatura. Es en estos dos rangos de temperatura más elevada donde la solar térmica constituye la única opción para acotar las participaciones de la biomasa y/o del hidrógeno, una vez

**Figura 497.** Comparación de la participación de la energía solar térmica en la cobertura de la demanda del sector industrial según el proyecto POSHIP (IDAE, 2001), y los distintos escenarios desarrollados en (GP, 2010) para OCDE-Europa.



**841** Como veremos más adelante, al considerar el conjunto de los sectores, la demanda de biomasa, incluso bajo el contexto E3.0, se puede acercar mucho al total del recurso disponible.

**842** Existe un estudio encargado por el IDAE del año 2009 de cara a la elaboración del nuevo PER, pero en el momento de redactar este informe (10/2010) sus resultados todavía no estaban disponibles.

**843** La aplicación en procesos recuperativos permite incrementar todavía más el COP al aproximar los niveles térmicos de los focos caliente y frío.

**844** Limitándose a algunos procesos recuperativos.

agotadas las posibilidades del uso de la electricidad residual.

Para el desarrollo del contexto E3.0 hemos considerado 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, y es, por tanto, del orden de magnitud de lo contemplado en los escenarios [R]E para el conjunto de OCDE-Europa. La figura 498 recoge las contribuciones de la solar térmica autónoma a la cobertura de la demanda térmica del sector industria en el contexto E3.0.

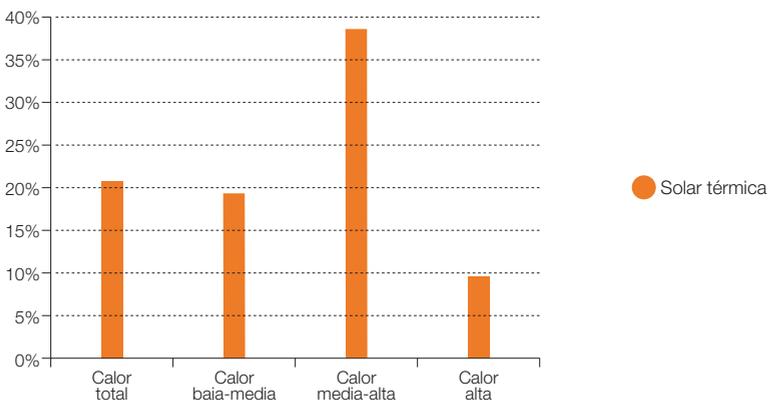
#### 3.8.4.8 Desmaterialización

La desmaterialización de la economía puede aportar una reducción significativa de consumo en el sector industrial por la reducción

de necesidades de fabricación de productos con soporte material. En (The Climate Group, 2008) se cuantifican estos efectos en lo que se refiere a la disminución de la producción de CDs, DVDs y papel al sustituirlos por la distribución *on-line*.

De igual forma, algunos de los planteamientos realizados en el contexto E3.0, contribuyen a reducir la demanda de productos materiales, evolucionado la economía de la situación actual en que se encuentra, basada en la venta de productos<sup>845</sup>, 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 apuntábamos para el contexto E3.0 conduce a una reducción muy importante de los requerimientos de producción de vehículos, lo que puede conducir a una significativa reducción de la demanda de energía en el sector industrial. Incluso más allá 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

**Figura 498.** Participación de la solar térmica autónoma en la cobertura de la demanda térmica del sector industria para el contexto E3.0.

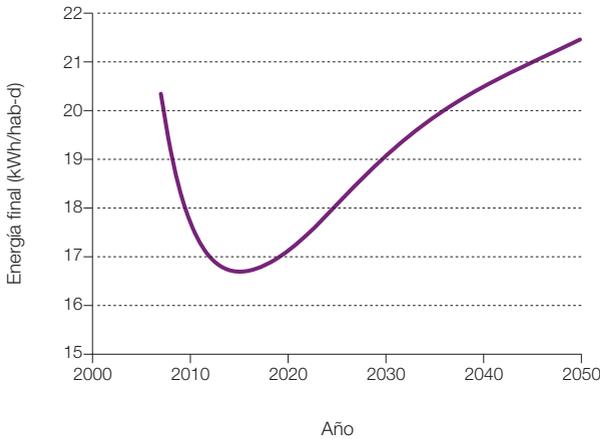


<sup>845</sup> Lo que requiere, por tanto, un consumo muy elevado para poder mantener la "salud" del sistema económico, aunque sea a costa de la salud del planeta.

decisiones, también tiene un importante potencial de reducción del consumo de energía en todos los sectores.

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

**Figura 499.** Escenario BAU de energía final per cápita para el sector industria.



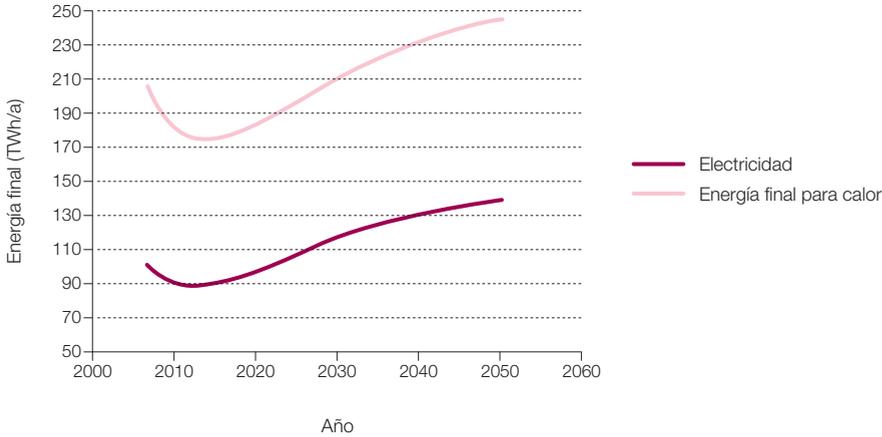
### 3.8.5 Escenario BAU

Para la elaboración del escenario BAU hemos 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. Es destacable, que tal y como hemos apuntado anteriormente, la evolución del sector industrial en estos últimos años se aleja significativamente de las elevadas tasas de crecimiento constante de los escenarios de la E4. Por el contrario, en el desarrollo del escenario BAU hemos recogido el retroceso ocasionado por la crisis en el crecimiento de la demanda de energía en el sector industrial,

en línea con los escenarios de la AIE en el WEO. Posteriormente a la depresión el BAU de industria vuelve a recuperar un cierto crecimiento del consumo de energía<sup>846</sup> en línea con el escenario de referencia de (GP, 2010) para OCDE-Europa. Así mismo desarrollamos 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 499 y 500 recogen el escenario BAU de energía total per cápita y el reparto de energía final entre electricidad y energía para generación de calor.

<sup>846</sup> Aunque muy inferior a las tasas de la E4.

**Figura 500.** Reparto entre electricidad y energía final para calor en el contexto BAU para el sector industrial.

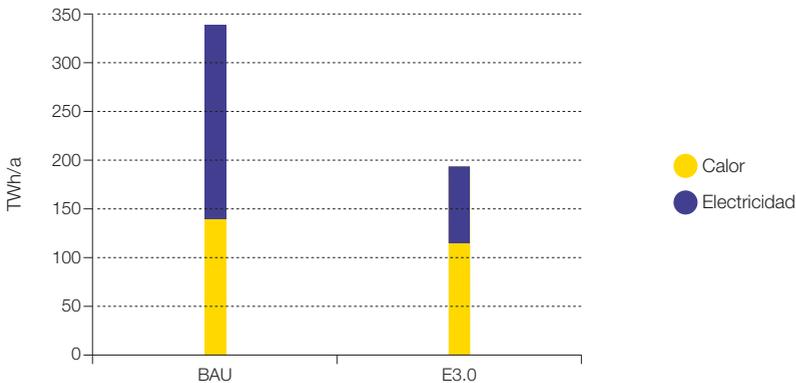


### 3.8.6 Escenario E3.0

Para el desarrollo del escenario de tecnología E3.0, hemos partido de la demanda de energía final en el contexto BAU para el año 2050 y su descomposición entre electricidad y calor, y le hemos aplicado 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 ocasionado por la crisis se prolonga en el contexto BAU y hace que en el contexto E3.0 ya no se recuperen las tasas de crecimiento positivo al empalmar las tasas decrecientes asociadas a la depresión de la crisis, con las tasas crecientes de introducción de medidas de eficiencia.

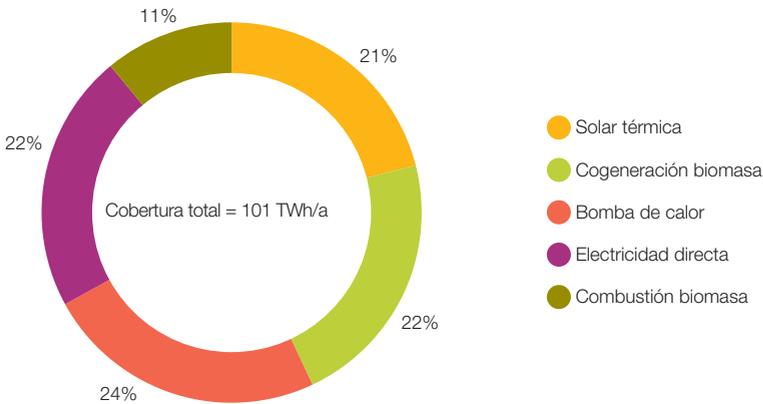
**Figura 501.** Comparativa de las demandas de calor y electricidad en año 2050 para los contextos BAU y E3.0.



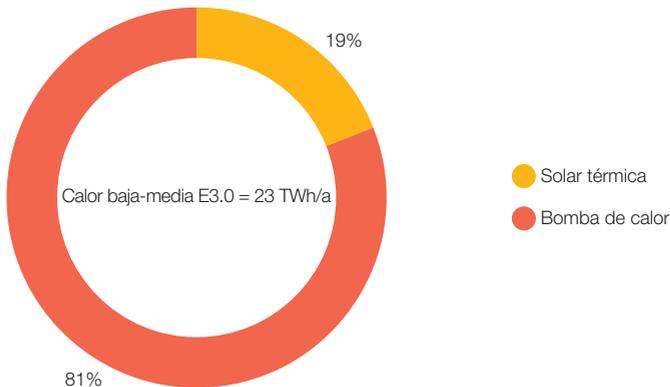
Debido a que bastantes de las medidas de eficiencia contempladas para el contexto E3.0 implican una migración de la energía final hacia la electricidad, la electrificación en el contexto E3.0 crece significativamente. La figura 501 recoge la comparativa entre las demandas de electricidad y calor en los contextos BAU y E3.0 para el año 2050.

Por lo que respecta a la cobertura de la demanda térmica en el contexto E3.0, la figura 502 muestra la contribución de las distintas tecnologías consideradas. Sin embargo, tal y como muestran las figuras 503 a 505 esta distribución modal se modifica significativamente para los distintos niveles térmicos.

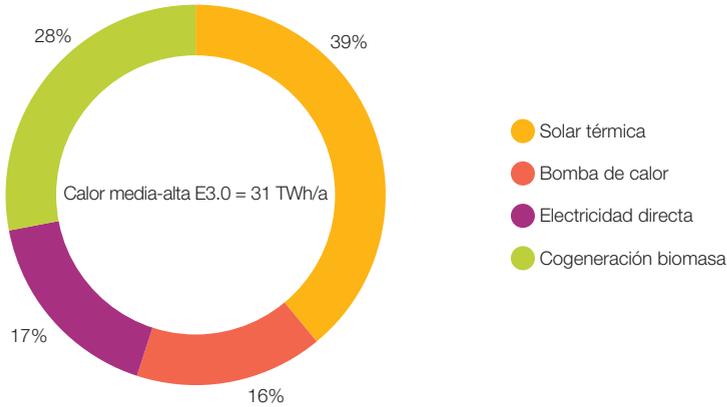
**Figura 502.** Contribución de las distintas tecnologías a la cobertura de la demanda térmica del sector industria en el contexto E3.0.



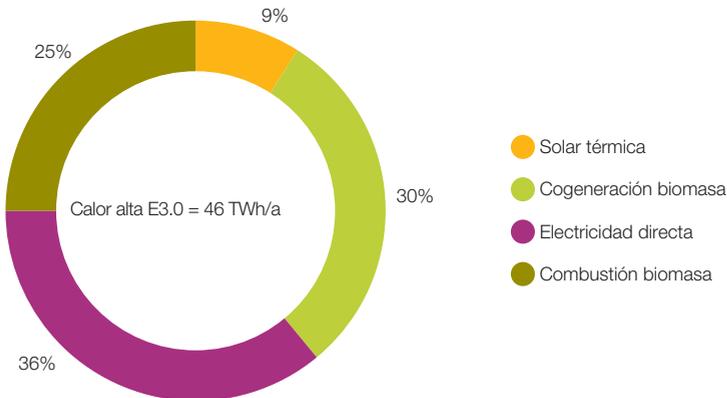
**Figura 503.** Contribución de las distintas tecnologías a la cobertura de la demanda térmica de baja-media temperatura del sector industria en el contexto E3.0.



**Figura 504.** 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 505.** Contribución de las distintas tecnologías a la cobertura de la demanda térmica de alta temperatura del sector industria en el contexto E3.0.



Como hemos comentado anteriormente, la biomasa se emplea en este contexto E3.0 tanto mediante cogeneración vía gasificación, como por combustión directa. En términos de los recursos<sup>847</sup>, la figura 506 recoge la demanda de electricidad y biomasa para el año 2050 en el contexto E3.0.

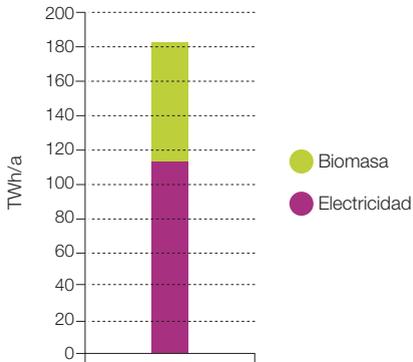
Comparando con otras referencias, el consumo de energía final en el contexto E3.0 para el escenario aquí desarrollado en el año 2050 es del mismo orden de magnitud del que resultaría de aplicar las tasas de evolución planteadas en (Arjun Makhijani, 2050)<sup>848</sup>, e inferior a los valores recogidos

<sup>847</sup> Estos resultados incluyen el efecto de la gasificación para la cogeneración, y la electricidad es la electricidad neta una vez descontada la electricidad autogenerada por cogeneración.

<sup>848</sup> Es destacable que en esta referencia esas tasas de evolución se consideran representativas tanto del escenario BAU como del eficiente.

en los escenarios del informe Energy [R]evolution (GP, 2010), lo cual se justifica por las mayores medidas de eficiencia incorporadas en nuestro caso y por el mayor uso de las bombas de calor.

**Figura 506.** Recursos energéticos en términos de electricidad y biomasa para cubrir la demanda energética del sector Industria en el contexto E3.0 y el año 2050.



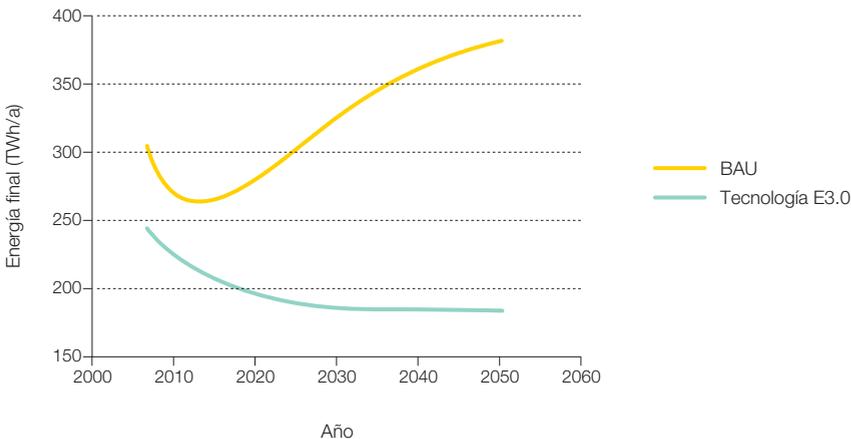
Por lo que respecta al requerimiento de biomasa resultante, estos 70 TWh/a se encuentran bastante por debajo del potencial existente, cifrado en (GP, 2005) en 426 TWh/a, pero muy por encima del uso actual de la biomasa en la industria, que según el observatorio de calderas de biomasa estaría en octubre de 2010 en torno a los 0,6 TWh/a en este sector (Ramos J. J., 2010).

La figura 507 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.

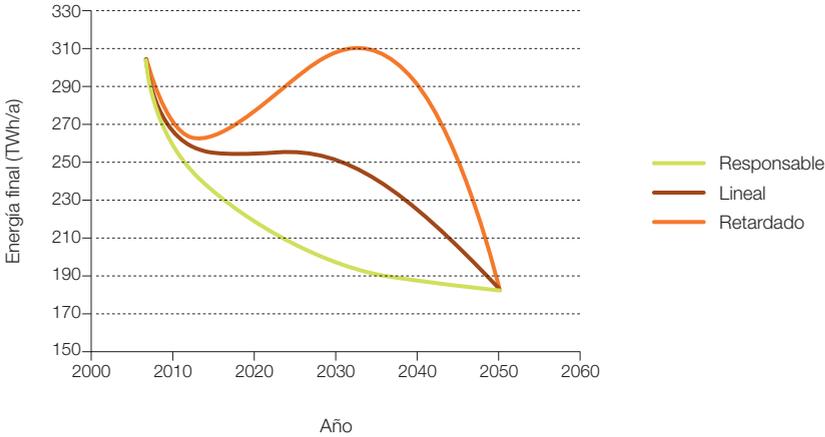
### 3.8.7 Escenario transición de BAU a E3.0

La transición desde el contexto BAU al E3.0 puede seguir distintas trayectorias según la evolución de los sistemas político, económico y social. Siguiendo en línea con los otros sectores, en la figura 508 mostramos los escenarios de transición resultantes de la

**Figura 507.** Comparativa de los escenarios de demanda de energía final en el contexto BAU y con la tecnología E3.0 para el sector industria.



**Figura 508.** Escenarios de transición del contexto BAU al contexto E3.0 en el sector industria.



aplicación de las tasas retardada, lineal o responsable para desarrollar esta transición.

Es de resaltar el acusado pico interior<sup>849</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.

### 3.9 Escenarios para los otros sectores energéticos

Con la finalidad de completar la imagen proyectada del sector energético, y especialmente por el interés en contrastar los requerimientos sobre el recurso renovable más limitado que tenemos en términos relativos a sus potenciales aplicaciones (la biomasa), hemos añadido a los escenarios de los principales sectores energéticos anteriormente desarrollados otros escenarios para el resto de sectores con implicaciones sobre los recursos energéticos, que a pesar de su carácter más simplificado nos proporcionen una visión de conjunto.

#### 3.9.1 Escenario sector primario

El sector primario (agricultura y pesca) tiene unas implicaciones en términos de GEI que van mucho más allá que su participación en el consumo de energía. Sin embargo, su consumo energético resulta también relevante desde el punto de vista de la asignación de

<sup>849</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.