

Energía 3.0

Un sistema energético basado en inteligencia,
eficiencia y renovables 100%

GREENPEACE

SEPTIEMBRE 2011

RESUMEN

Greenpeace España

San Bernardo 107, 1
28015 Madrid
T. 91 444 14 00 F. 91 187 44 56

info@greenpeace.es

Documento resumen, elaborado por José Luis García Ortega y Alicia Cantero, a partir del informe *Energía 3.0. Un sistema energético basado en inteligencia, eficiencia y renovables 100%*. Informe completo.

Diseño y maquetación: Advantía
Comunicación Gráfica.

Este informe ha sido producido gracias a las aportaciones económicas de los socios de Greenpeace.

Greenpeace es una organización independiente política y económicamente que no recibe subvenciones de empresas, gobiernos o partidos políticos. Hazte socio en www.greenpeace.es

Impreso en papel 100 % reciclado postconsumo y totalmente libre de cloro.

Septiembre 2011.

foto portada

©PEDRO ARMESTRE

©PEDRO ARMESTRE





“Si buscas resultados distintos,
no hagas siempre lo mismo.”

(Albert Einstein)

Índice de contenido

Secciones

1. Introducción	6	4.6 Escenarios de demanda energética por tipología de edificio	36
2. Planteamientos conceptuales	10	4.6.1 Residencial unifamiliar	36
2.1 Mecanismos de respuesta rápida y evolución en escalón	11	4.6.2 Residencial en bloque	39
2.2 Transición hacia la era de la inteligencia	11	4.6.3 Oficina	41
2.2.1 Evolución de planteamientos oferta-demanda	11	4.6.4 Comercio	43
2.2.2 Sistemas técnicos inteligentes	12	4.6.5 Supermercado	45
2.2.3 Sistemas socioeconómicos y políticos inteligentes	12	4.6.6 Centro educativo	47
2.3 Integración y electrificación del sistema energético y sus repercusiones	13	4.6.7 Hospital	49
2.3.1 Cobertura de la demanda térmica en el sector edificación	13	4.6.8 Restaurante	52
2.3.2 Cogeneración	15	4.6.9 Almacén	54
2.3.3 Solar térmica de baja temperatura	15	4.6.10 Hotel	56
3. Escenarios	16	4.7 Escenarios de demanda energética totales	58
3.1 Características de los escenarios	17	4.7.1 Edificación residencial	58
3.2 Clima	18	4.7.2 Edificación del sector terciario	60
3.3 Crecimiento económico	19	4.7.3 Resultados totales	61
3.4 Población	19	4.8 Escenarios de transición	63
4. Escenario de demanda del sector edificación	22	5. Escenario de demanda del sector transporte	66
4.1 Planteamiento	23	5.1 Movilidad	67
4.2 Contribución sectorial a la demanda energética	23	5.2 Reparto modal	71
4.3 Escenario de superficie de edificios	26	5.2.1 Movilidad urbana de viajeros	71
4.4 Escenario de reparto modal entre tipologías de edificios	27	5.2.2 Movilidad urbana de mercancías	74
4.4.1 Tipologías de edificios	27	5.2.3 Movilidad no urbana de viajeros	74
4.4.2 Reparto modal	28	5.2.4 Movilidad no urbana de mercancías	76
4.5 Componentes de la demanda energética y potencial de mejora	29	5.3 Consumo de energía por modos de transporte	78
4.5.1 Envoltente del edificio	29	5.3.1 Coche	79
4.5.2 Iluminación	30	5.3.2 Moto	80
4.5.3 Equipamientos	31	5.3.3 Autobús	82
4.5.4 Generación de calor y frío: bombas de calor	32	5.3.4 Autocar	83
		5.3.5 Metro	84
		5.3.6 Tren de pasajeros	86
		5.3.7 Avión de pasajeros	87
		5.3.8 Barco	88
		5.3.9 Furgoneta	89
		5.3.10 Camión	91
		5.3.11 Tren de mercancías	92
		5.3.12 Avión de carga	93
		5.3.13 Buque de carga	94
		5.3.14 Tubería	96



Grupo de aerogeneradores del parque eólico de La Veleta, en Monasterio de Rodilla (Burgos).

©PEDRO ARMESTRE

Introducción

Energía y cambio climático están íntimamente relacionados. Para evitar un cambio climático de muy graves consecuencias es imprescindible cambiar el actual modelo energético para hacerlo sostenible y esto implica erradicar las fuentes de energía más contaminantes y peligrosas, así como acabar con el derroche de energía. Pero es necesario saber si eso es posible, si existen soluciones para satisfacer nuestras necesidades energéticas dentro de los límites de sostenibilidad del planeta en el que vivimos, si es posible ponerlas en marcha con la urgencia que se requiere y cuál sería el coste de hacerlo (y de no hacerlo).

Con ese fin, Greenpeace ha publicado la serie de informes *[R]evolución Energética* que demuestran cómo el mundo puede reducir sus emisiones de CO₂ hasta los niveles necesarios para evitar un cambio climático peligroso, al sustituir progresivamente los combustibles fósiles y la energía nuclear por energías renovables y eficiencia energética. Estos estudios se han complementado con otros más detallados en España, para analizar con mayor precisión hasta dónde podría llegar esa *[R]evolución Energética* en nuestro país, y marcar un horizonte que sirva de guía a las decisiones de política energética.

En 2005, Greenpeace España publicó el primer informe de la serie *[R]evolución Energética* referido específicamente a este país, *Renovables 2050. Un informe sobre el potencial de las energías renovables en la España peninsular*. En él se evaluó por primera vez el potencial de todas las fuentes renovables para la generación de electricidad, y se demostró que las energías renovables podrían abastecer 56 veces toda la demanda de electricidad de la península en 2050, teniendo en cuenta las limitaciones territoriales, ambientales y tecnológicas.

El siguiente paso se publicó en 2007 *Renovables 100%. Un sistema eléctrico renovable para la España peninsular y su viabilidad económica*. Este estudio demostró que es viable técnicamente un sistema eléctrico 100% renovable

para garantizar el suministro en todo momento, a un coste inferior al que supondría dar el mismo servicio con las energías sucias. De hecho, el estudio encontró que existen muchas configuraciones posibles, con distintas combinaciones de sistemas de generación eléctrica basados en fuentes renovables, para satisfacer la demanda proyectada en 2050.

En *Renovables 100%* también se mostró en una primera aproximación que, aplicando los mismos conceptos desarrollados para construir los mix eléctricos 100% renovables, se podrían componer mix de generación eléctrica capaces de cubrir una cantidad de energía equivalente a todos los consumos energéticos de la España peninsular en 2050, no solo eléctricos, sino también que garantizaran el suministro en todo momento y se mantuvieran dentro de los límites de recursos renovables disponibles en el propio territorio. El estudio no fue más allá en esta dirección, ya que no era su objetivo, y todo el análisis que se realizó para optimizar los mix de generación eléctrica se refería a la demanda eléctrica proyectada en 2050 sin incluir el resto de consumos energéticos.

El estudio *Renovables 100%* dejó abiertos nuevos horizontes, hasta entonces solo intuidos, y desde entonces la opción 100% renovable ha ido tomando fuerza. Son cada vez más las voces que se suman a este planteamiento y nuevos estudios plantean esa posibilidad como factible en distintos horizontes temporales y geográficos. No obstante, se abrieron nuevos interrogantes:

- Si toda la electricidad que se consume puede obtenerse de fuentes renovables, ¿qué pasaría con el resto de servicios energéticos, que son la mayor parte, y que actualmente no se satisfacen en forma de electricidad? ¿Se podrían cubrir también con renovables? ¿Sería necesario para ello traspasar todos los consumos a electricidad, o sería preferible un suministro directo con fuentes renovables? ¿No llevaría esto a un sistema eléctrico o energético demasiado

Los informes [R]evolución Energética de Greenpeace demuestran cómo el mundo puede reducir sus emisiones de CO₂ lo necesario para evitar un cambio climático peligroso, al sustituir progresivamente los combustibles fósiles y la energía nuclear por energías renovables y eficiencia energética.

grande, en términos de recursos empleados, coste y espacio ocupado?

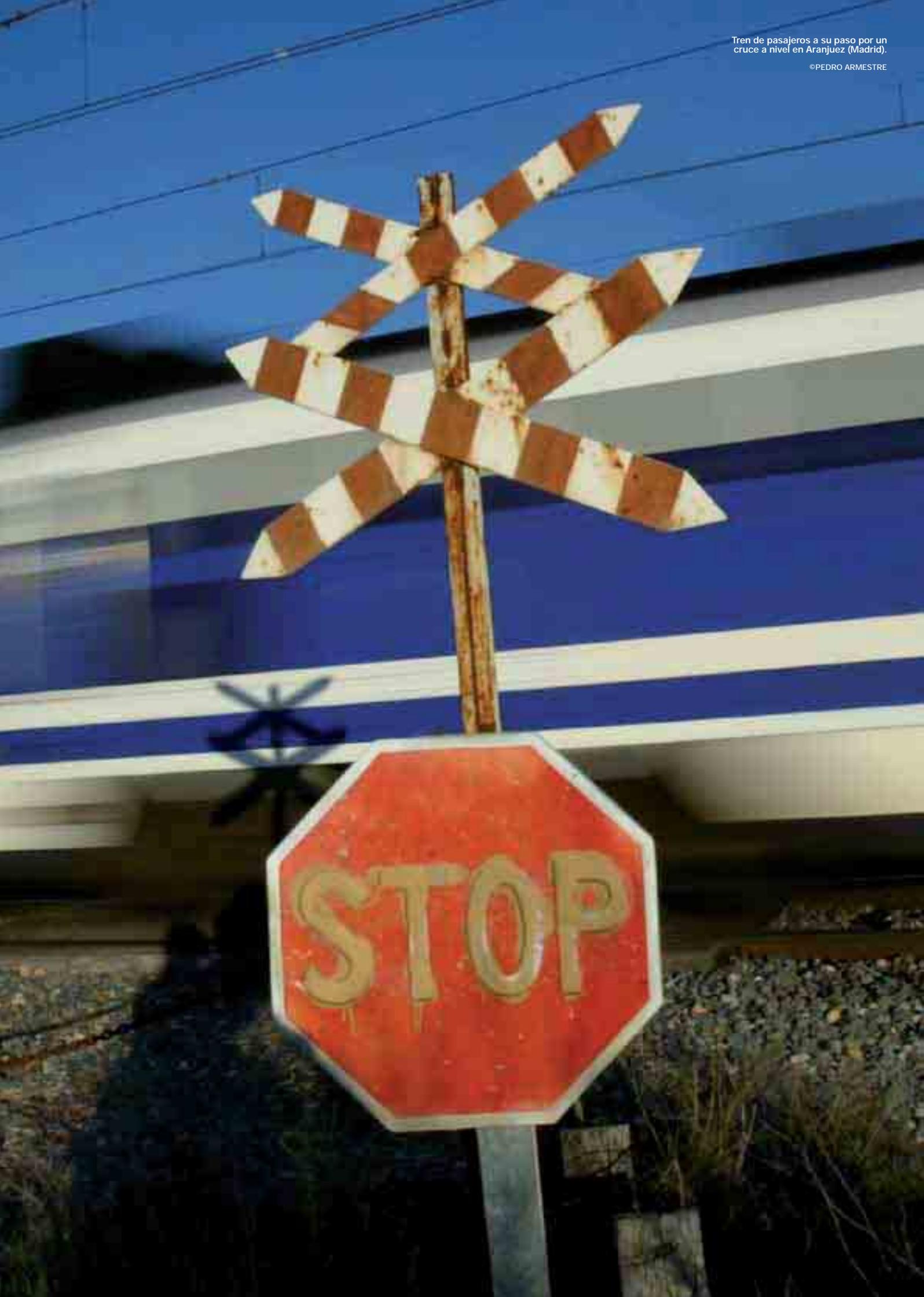
- Y si toda la energía se puede obtener de fuentes renovables, ¿significa eso que no se necesita reducir la demanda ni promover políticas de ahorro y eficiencia energética? ¿Podría seguir aumentando el consumo indefinidamente?

El objetivo del estudio *Energía 3.0* es dar respuesta a esos interrogantes, y para ello avanza varios pasos:

- Se expande el concepto a **todo el sistema energético**, no solo el eléctrico, integrando todas las formas de demanda energética final (principalmente mediante la electrificación) en todos los sectores consumidores de energía.
- Se adopta el llamado 'enfoque demanda', bajo el que se analizan las posibilidades de aplicar la inteligencia y la eficiencia energética en el uso energético final, y en todo el sistema, para desarrollar **escenarios eficientes para cada sector** consumidor de energía.
- Se introduce la **gestión activa de la demanda** para integrar óptimamente las energías renovables y lograr un sistema energético 100% renovable, más sostenible y de menor coste.
- Y con todo ello se desarrollan nuevos análisis de **cobertura de la demanda con sistemas de generación 100% renovables**, bajo distintos conceptos, para cuantificar las ventajas/inconvenientes de cada una de las posibles opciones.

En este informe-resumen se presentan los planteamientos conceptuales, seguidos de los **escenarios de demanda energética** para la España peninsular en el horizonte 2050, para cada sector, y se comparan los escenarios de demanda energética que cabría esperar de manera tendencial (de continuidad, de seguir como hasta ahora o 'business as usual' - BAU) con los escenarios de demanda que se podrían obtener, para los mismos sectores y el mismo ámbito temporal y geográfico, al incorporar los conceptos fundamentales de *Energía 3.0* relativos a inteligencia y eficiencia energética, desde una perspectiva de sistema energético integrado. A partir de los escenarios sectoriales se obtienen los de demanda energética total y los escenarios de emisiones. A continuación se presenta un análisis de costes y por fin los **escenarios de cobertura de la demanda**, comparando en términos de energía y de costes los resultados de cuatro escenarios de cobertura de demanda: demanda BAU con generación BAU, demanda BAU con generación 100% renovable, demanda E3.0 con generación 100% renovable y este último con gestión de la demanda. Por último, se resumen las principales conclusiones y las propuestas de Greenpeace.

Para una explicación detallada del trabajo realizado se recomienda la lectura del informe original completo *Energía 3.0 Un sistema energético basado en inteligencia, eficiencia y renovables 100%* (Greenpeace, 2011).





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.

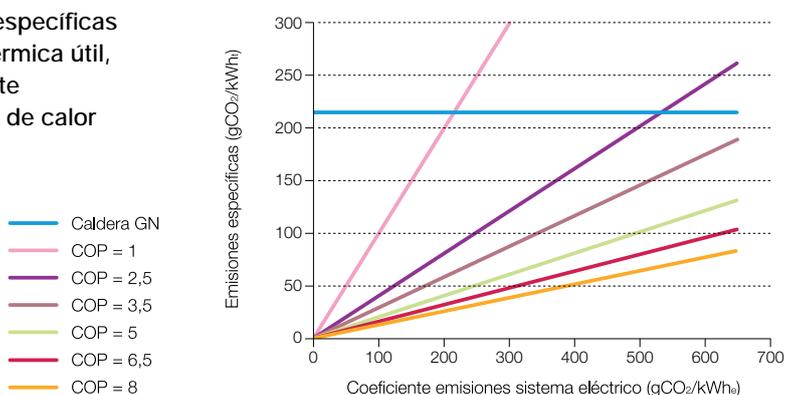
Una caldera de gas natural (el combustible fósil de menos emisiones) de elevado rendimiento promedio (95 %) produce unas emisiones de $215 \text{ gCO}_2/\text{kWh}_e$. En el año 2010 el coeficiente de emisiones del sistema eléctrico español ya era de $247 \text{ gCO}_2/\text{kWh}_e$ ¹, por lo que las emisiones asociadas a la producción de un kWh térmico con bombas de calor se reducen a $71 \text{ gCO}_2/\text{kWh}_e$ para un coeficiente de rendimiento (COP)² igual a 3,5 y a $38 \text{ gCO}_2/\text{kWh}_e$ 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.



Detalle de los mandos de un vehículo convencional. El modelo energético E3.0 apuesta por el desarrollo de un sistema de transporte inteligente (STI).

Escenarios

3.1

Características de los escenarios

Los escenarios tienen la capacidad de aportar evaluaciones cuantificadas del efecto de diversas actuaciones, y de permitir una toma de conciencia sobre el potencial de distintas aproximaciones. Es decir, sirven para evaluar qué resultados se pueden esperar según lo que se haga. Los escenarios desarrollados en este estudio se caracterizan por ser:

Escenarios de integración de renovables y eficiencia

El objetivo de los escenarios desarrollados en este estudio es cubrir los servicios requeridos para el funcionamiento de la sociedad con el mínimo uso de recursos.

Ya no solo se trata, como en *Renovables 100%* (Greenpeace, 2007), de cubrir 'solo' toda la demanda eléctrica con fuentes renovables en 2050, sino de cubrir todos los servicios que demandan energía, integrando renovables, eficiencia y gestión de la demanda, lo cual permite alcanzar el objetivo de manera sostenible, es decir, no solo hasta 2050 sino más allá. Y como consecuencia, obtener mejores servicios a menor coste total, además de con menores necesidades de territorio, materiales y financiación.

Escenarios de abajo-a-arriba

Es habitual ver el desarrollo de escenarios basados en aproximaciones macro, que buscan correlacionar la variable dependiente sobre la que se quiere elaborar el escenario (por ejemplo la energía) con algún indicador

macro del cual ya se dispone de escenarios (por ejemplo el PIB). Sin embargo, la introducción de eficiencia y ahorro muy a menudo va ligada a cambios estructurales que no puede recoger una aproximación macro. Por ello, los escenarios elaborados en este estudio con más detalle (edificación y transporte) utilizan una aproximación de abajo-a-arriba: parten del análisis detallado de la estructura de la demanda en cada uno de los subsectores y del potencial de la eficiencia para reducir esa demanda, para posteriormente agregar la demanda total a nivel peninsular y multisectorial.

Escenarios de Continuidad y de Eficiencia, y escenarios de transición

En este estudio se diferencia entre dos contextos para desarrollar los escenarios:

- El contexto BAU⁴ refleja las tendencias actuales asociadas a un compromiso limitado con la reducción de emisiones. Estos escenarios se pueden interpretar como tendencias a partir de la situación actual, con tendencias que pueden apuntar en la dirección correcta pero con insuficiente intensidad.
- El contexto Energía 3.0⁵ refleja una evolución del consumo energético bajo planteamientos de eficiencia energética, y presuponiendo que los cambios estructurales necesarios para internalizar las medidas de eficiencia propuestas pueden aplicarse instantáneamente.

El punto de partida de ambos escenarios a menudo no es coincidente, ya que representan posibilidades técnicas que son diferentes incluso hoy en día. Para un año dado, el paso del BAU al E3.0 requeriría cambios en escalón que no siempre son posibles. Sin embargo, la introducción de inteligencia en los sistemas energético,

⁴ BAU: Business As Usual = seguir como hasta ahora, contexto de 'continuidad', en el que se desarrollan los escenarios de continuidad o BAU.

⁵ En adelante, E3.0, contexto de 'eficiencia', en el que se desarrollan los escenarios de eficiencia o E3.0.

El objetivo de los escenarios desarrollados en este estudio es cubrir los servicios requeridos para el funcionamiento de la sociedad con el mínimo uso de recursos.

económico, político y social, que constituye uno de los elementos fundamentales de los planteamientos E3.0, sí que permite materializar cambios en escalón que son impensables bajo la perspectiva BAU. Por otro lado, los escenarios BAU y E3.0, en general, no son escenarios de transición, sino escenarios extremos, entre los que cabe cualquier escenario de transición.

La transición desde el contexto BAU al E3.0 requerirá seguir una trayectoria progresiva, más o menos acentuada según el ritmo de implementación de los cambios estructurales requeridos. Si partimos de un estado inicial (contexto BAU) y de un punto final en el año 2050 para el contexto E3.0, existe una infinidad de trayectorias que se pueden seguir en el proceso de transición, que dependen de la intensidad con la que se consigan articular los procesos de cambio. A lo largo de este estudio se destacan tres de estas posibles trayectorias:

- Escenario de transición retardado: en el que se retarda el proceso de transición hacia la tecnología E3.0.
- Escenario de transición lineal: en el que el proceso de incorporación de la tecnología E3.0 es lineal en el tiempo.
- Escenario de transición responsable: en el que se acelera la incorporación de la tecnología E3.0 en los primeros años del escenario para dar respuesta a los requerimientos del sistema climático.

3.2 Clima

Para los análisis desarrollados en este estudio, el clima tiene un efecto significativo sobre:

- La demanda energética de algunos sectores, como la edificación. El efecto del cambio climático será modificar la estructura de la demanda de energía de los edificios.
- Los recursos de las tecnologías renovables, que en general se verán modificados por el cambio climático,

en uno u otro sentido dependiendo del recurso específico. Cabe esperar una reducción del recurso hídrico, pero un incremento del recurso solar.

Para elaborar los escenarios presentados en este informe se utilizan los años meteorológicos tipo (TMY)⁶ en cada una de las provincias peninsulares. Pero ¿cómo se verán afectados por el cambio climático? ¿Y qué cambio climático sería razonable suponer?

En principio, resulta dudoso que se pueda asumir de cara al futuro que el clima se mantendrá igual al actual. Esto es especialmente cierto para un contexto BAU en el que continuarían aumentando, o no reduciéndose lo necesario, las emisiones causantes del cambio climático. Pero incluso en el contexto E3.0, y si se tiene en cuenta el carácter global de la física del sistema climático, parece difícil que sea posible regresar a las condiciones climáticas actuales. Según los estudios disponibles, cabe esperar una modificación significativa del clima en España como consecuencia de los efectos del cambio climático: incremento de temperaturas, incremento de oscilación de temperaturas (temperaturas máximas subirán más que mínimas), incremento de radiación solar, reducción de humedad relativa, reducción de precipitaciones, modificación de regímenes de vientos. Es decir, los TMY que representen la condición climática en la situación pos cambio climático serán distintos a los actuales. Por ello, parecería adecuado emplear unos TMY pos cambio climático para desarrollar los análisis asociados a este estudio, en particular para generar la secuencia horaria de demanda energética del sector edificación, y para generar las secuencias de capacidad de generación eléctrica de las distintas tecnologías renovables.

Sin embargo, se ha decidido emplear los TMY oficiales, al considerarlos como representativos, no ya de las condiciones climáticas medias pos cambio climático, sino de un año concreto al que se pueda ver sometido el sistema energético en condiciones pos cambio climático, aunque sí que se reducirá el producible hidroeléctrico en línea con los pronósticos de los modelos regionales de cambio climático. Los motivos para esta decisión son varios:

- El objetivo principal para Greenpeace de potenciar la transición desde un contexto BAU a uno E3.0

⁶ El TMY (Typical Meteorological Year) es un archivo en el que se recoge la evolución de las distintas variables meteorológicas (temperatura, humedad, irradiación solar, velocidad del viento, etc.) a lo largo de un año (8.760 horas / año) que se considera representativo de las condiciones climáticas medias del emplazamiento.

es precisamente evitar un cambio climático de origen antropogénico que traspase lo que se pueda considerar seguro para el conjunto de habitantes y ecosistemas de este planeta. El escenario de emisiones coherente con la adopción del contexto E3.0 en el conjunto del planeta sería un escenario de bajas emisiones y por tanto pequeña modificación climática.

- La información climática disponible en los escenarios climáticos regionalizados para España es actualmente insuficiente para poder generar TMY representativos de las nuevas condiciones climáticas.
- Las metodologías para generar TMY pos cambio climático que parten de los TMY actuales y de la información de los escenarios regionales de cambio climático son incompletas y limitadas.
- En España no existen TMY oficiales correspondientes a distintos escenarios de cambio climático.
- En el contexto actual recogido por los distintos escenarios de cambio climático, el propio concepto de TMY ya no tiene validez, pues al no encontrarse estabilizado el sistema climático el cambio es continuo. Un TMY es un año meteorológico que representa las condiciones climáticas promedio del emplazamiento, pero que no se corresponde ni representa a ningún año concreto. Los años meteorológicos que experimentará cualquier sistema (edificio, centrales de generación, etc.) oscilarán alrededor del TMY a lo largo de toda su vida útil. El sistema energético en su conjunto debe tener capacidad de responder a distintos años meteorológicos de forma satisfactoria. La flexibilidad del sistema energético para adaptarse a distintas evoluciones de la demanda y la capacidad de generación constituye un importante atributo.

3.3 Crecimiento económico

La contracción en el crecimiento de la demanda de energía es un elemento imprescindible para la sostenibilidad a largo plazo. Una cuantificación de este aspecto se obtiene al plantearse un sistema energético basado exclusivamente en generación renovable. Si tomamos como punto de partida el potencial existente de las energías renovables en la España peninsular,

evaluado en el estudio *Renovables 2050*, una medida de la sostenibilidad del sistema energético es el mantenerse dentro de las posibilidades del potencial de generación renovable. De acuerdo con el desarrollo de escenarios macro basados en la evolución del PIB y de la intensidad energética se concluye que de mantener un crecimiento del PIB del 3%/a, incluso con una mejora de la intensidad energética de 2%/a, en torno al año 2040 se agotaría todo el potencial de generación renovable, y se retrasaría esta fecha hasta el 2618 en el caso de limitar el crecimiento económico a un 1%/a.

El escenario de crecimiento económico hasta el año 2050 adoptado para este estudio (ver figura 2) es el correspondiente a las tasas de crecimiento económico planteadas por la Agencia Internacional de la Energía hasta el año 2030 y extrapolado hasta el año 2050 en el informe *[R]evolución Energética. Una perspectiva energética mundial sostenible* elaborado por Greenpeace y por el Consejo Europeo de Energías Renovables (EREC).

Con esta hipótesis, los recursos renovables disponibles en nuestro país tienen capacidad suficiente para mantener de forma sostenible la actividad económica. Sin embargo, si se extrapola dicho escenario a una escala temporal mayor, como muestra la figura 3, se ve que no se llegaría a un nivel estable del PIB hasta alrededor del año 2250, con valores del orden de los actualmente existentes en las economías de mayor PIB del mundo. Para alcanzar la sostenibilidad es preciso afrontar abiertamente el hecho de que, aunque sea más allá del año 2050, resulta imprescindible que las tasas de crecimiento económico se acaben anulando, y por tanto será preciso trabajar en la estructura del sistema económico para que esta situación de crecimiento nulo estable no suponga el desencadenamiento de una situación de crisis crónica.

3.4 Población

Como escenario de población en el que se basarán los escenarios energéticos, se considera el escenario-1 de los publicados por el Instituto Nacional de Estadística (INE) en 2009, según el cual la población de la España peninsular para el año 2050 será de 48,85 millones de habitantes.

Se trata de cubrir todos los servicios que demandan energía, integrando renovables, eficiencia y gestión de la demanda.

Figura 2 Escenario adoptado de crecimiento del PIB en el horizonte temporal considerado (\$ constantes).

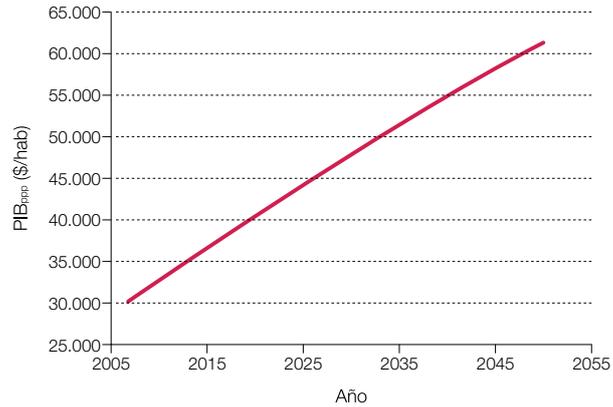


Figura 3 Escenario adoptado de crecimiento del PIB, extendido más allá del límite temporal considerado en este estudio (año 2050) para apreciar su tendencia de contracción y saturación (\$ constantes).

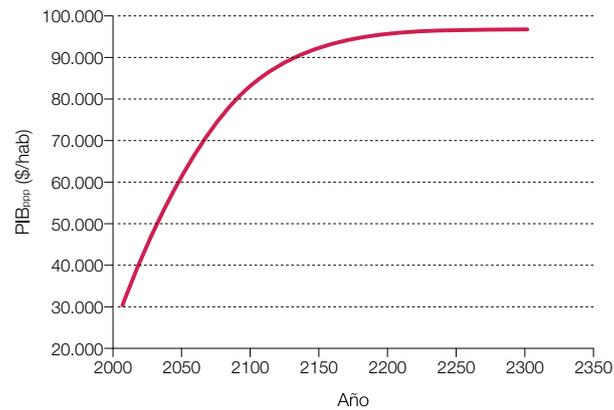
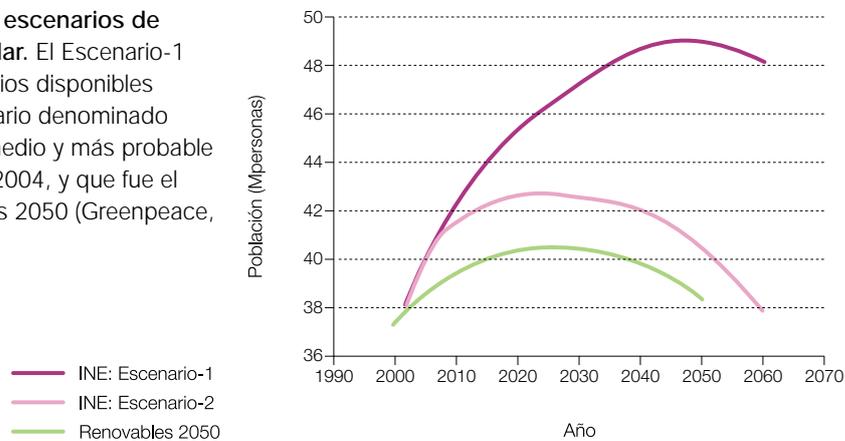


Figura 4 Comparación de distintos escenarios de población para la España peninsular. El Escenario-1 y el Escenario-2 son los dos escenarios disponibles en 2009 en la web del INE. El escenario denominado 'Renovables 2050' es el escenario medio y más probable que proporcionaba el INE en el año 2004, y que fue el adoptado para el informe Renovables 2050 (Greenpeace, 2005).



En Rivas hay 35 edificios públicos
(ayuntamiento, polideportivos,
centros culturales, juveniles,
puntos limpios, colegios, etc.) con
paneles solares instalados en sus
tejados.

© AYUNTAMIENTO DE RIVAS





ALQUILA
91 809 7...

VENDE
91 809 8072

VENDE
91 809 80... 2

Escenario de demanda del sector edificación

4.1

Planteamiento

En este capítulo se presentan los escenarios de demanda energética del sector edificación en los contextos de Continuidad (BAU) y de Eficiencia (E3.0).

El desarrollo de escenarios BAU y E3.0 para el año 2050 consta de las siguientes fases:

- Desarrollo de un escenario de superficie edificada, residencial y terciaria, por provincias, común para ambos contextos.
- Desarrollo de un reparto modal entre las diferentes tipologías de edificios, por provincias, común para ambos contextos.
- Desarrollo de un modelo de edificio para representar cada tipología.
- Establecimiento de condiciones BAU y E3.0 para los niveles de eficiencia en cada una de las tipologías de edificios.
- Simulación del modelo de cada tipología de edificio en las condiciones de eficiencia de los contextos BAU y E3.0, para cada una de las provincias peninsulares, representadas por sus respectivas capitales.

A continuación se presentan los principales elementos del cálculo desarrollado, y los resultados de los dos

escenarios por cada una de las tipologías de edificios considerada, con su correspondiente distribución provincial. Finalmente se presentan los resultados de demanda energética agrupados en subsector edificación residencial, y subsector edificación terciario y totales de todo el sector edificación. De acuerdo con estos resultados, y para distintos escenarios de transición del contexto BAU al E3.0, se desarrollan escenarios de evolución de la demanda energética de este sector en el horizonte de tiempo considerado.

4.2

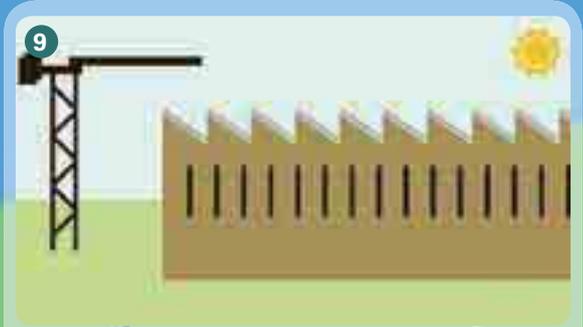
Contribución sectorial a la demanda energética

El primer elemento a tener presente al analizar la repercusión del sector edificación en el consumo de energía es la ausencia de monitorización del consumo energético en el parque español de edificios. Para el estudio se consideran los balances energéticos de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) de 2007⁷ como representativos de la información oficial sobre la estructura de la demanda energética en España. En términos de energía primaria el sector edificación representa un 32,9% del consumo energético total, por delante de los sectores industrial y transporte.

⁷ Últimos datos disponibles en el momento de efectuar el estudio.

Edificación inteligente, eficiente y 100% renovable

La edificación inteligente consigue satisfacer las necesidades de confort de los usuarios, aplicando medidas de eficiencia que logran una gran reducción del consumo energético. Todas las demandas de energía se cubren con electricidad 100% renovable. Los edificios autoconsumen la energía que producen y el resto la intercambian con el sistema. De esta forma los consumidores participan en el mercado eléctrico ofreciendo servicios de gestión de la demanda.



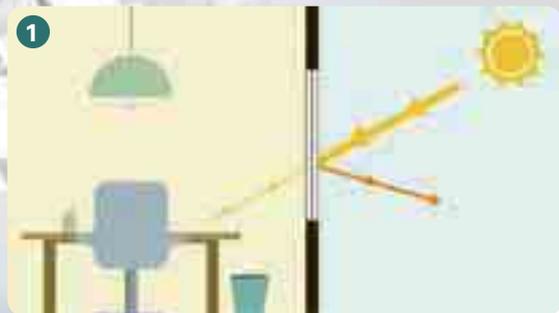
Las necesidades de calor en la industria se cubren con energía solar térmica, biomasa y electricidad 100% renovable.

9 Industria

6 Redes inteligentes

5 Gestión de la demanda

8 Economía inteligente



El consumo energético para climatizar los edificios se reduce al mínimo mediante: diseño bioclimático; espesor de aislante óptimo para cada clima en paredes, cubiertas y suelo; ventanas con control solar y térmico activo.



Lámparas más eficientes (LED), iluminación natural con tragaluzes, tubos de luz solar y la introducción de inteligencia en las ventanas reducen mucho el consumo de energía para iluminación.



Ordenadores, electrodomésticos y otros equipamientos eléctricos incorporan grandes niveles de eficiencia.



8 En un sistema económico inteligente el promotor no solo vende casas, también se corresponsabiliza de los costes de los servicios energéticos del edificio y del despliegue de eficiencia. Sus beneficios se basan en proporcionar estos servicios comprometidos con la máxima eficiencia.



7 Con energía solar fotovoltaica o minieólica los edificios producen la totalidad o la mayor parte de la energía que necesitan, y la consumen ellos mismos e intercambian sus excedentes con la red.

2 Iluminación

1 Diseño bioclimático

4 Bomba de calor

3 Equipamiento



6 Las empresas de servicios energéticos gestionan, con redes inteligentes y centrales virtuales, el consumo de distintos edificios y la generación con renovables.

7 Generación distribuida



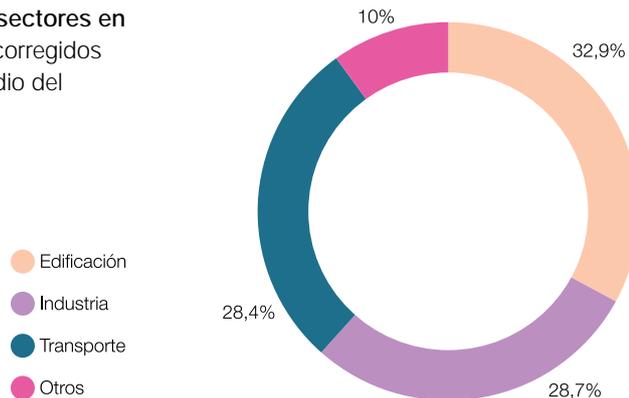
4 La demanda de calor, frío y agua caliente sanitaria se cubrirá con electricidad 100% renovable mediante bombas de calor. En la transición hacia un sistema Energía 3.0 la energía solar térmica seguirá teniendo un papel importante para la producción de agua caliente en edificios.



5 Subiendo o bajando de forma automática termostatos, en equipos de climatización y cámaras frigoríficas, sin afectar al confort ni a las prestaciones, se acumula energía en forma de calor/frío. Así se puede desplazar el consumo de electricidad a otras horas para adaptarse mejor a la producción disponible 100% renovable.

El sector edificación, en la actualidad, es el de mayor demanda energética. Pero existen elementos que hacen suponer que el peso de este sector pudiera ser superior en el futuro.

Figura 5 Demanda de energía primaria por sectores en España. Elaborada a partir de datos de AIE, corregidos los términos eléctricos con el rendimiento medio del sistema.



Como se observa en la figura 5 el sector edificación, en la actualidad, es el de mayor demanda energética. Sin embargo existen cuatro elementos que hacen suponer que el peso del sector edificación pueda ser en el futuro incluso superior, aun sin considerar sus interrelaciones con las emisiones asociadas al transporte por la demanda de movilidad de los ocupantes de los edificios:

- La energía almacenada en los materiales y proceso de construcción de los edificios no se ve reflejada en el balance de la AIE dentro del sector edificación, sino dentro de los sectores industria y transporte.
- Las incertidumbres asociadas a la falta de monitorización del consumo energético en el sector edificación.
- La falta de internalización de la demanda de confort potencial en el parque de edificios en España.
- El hecho de que actualmente no todo el parque de edificios construido se halla en uso.

El elevado peso porcentual del sector edificación, junto a su potencial crecimiento y el carácter distribuido de los edificios, hacen que en un contexto de elevada electrificación del sistema energético resulte prioritario apurar al máximo las posibilidades de las medidas de eficiencia energética. Afortunadamente, el potencial de eficiencia de este sector es muy elevado y se dispone de mecanismos de respuesta rápida para desplegarlo de forma efectiva.

En el sector edificación, la integración en el sistema energético constituye un elemento fundamental tanto

para acelerar la introducción de cobertura renovable de su demanda, como para favorecer las sinergias de este sector con el conjunto del sistema energético, al hacer que pase a constituirse como elemento fundamental para articular la participación de la demanda en la operación del sistema. La electrificación constituye un componente fundamental de este proceso de integración, así como del despliegue de eficiencia en este sector.

4.3

Escenario de superficie de edificios

El primer paso para el desarrollo de los escenarios es determinar cuánta superficie estará edificada en 2050. De modo conservador se ha considerado el mismo escenario de superficie de edificios para los dos contextos BAU y E3.0.

Para el desarrollo del escenario se diferencian los dos subsectores: residencial y terciario. La superficie considerada para el sector residencial se ha calculado a partir del escenario de evolución del PIB, por lo que para el año 2050 se puede esperar un área útil de edificación residencial de 65 m² /p. Con la distribución provincial asumida para la población, la superficie útil total del parque residencial en 2050 ascendería a 3.894 km², lo que representaría una tasa media de crecimiento del 0,8%/a.

Para el sector terciario, se proyectan a 2050 los ratios de superficie construida terciaria por comunidades autónomas⁸, y se tiene en cuenta una estabilización pos crisis y una

⁸ Según datos del Ministerio de Fomento relativos a visados de dirección de obra de los colegios de arquitectos técnicos (construcción 2000-2009) y acumulado procesado en el informe *Renovables 2050* (Greenpeace, 2005).

convergencia entre el modelo de urbanización en las capitales de distintas provincias. De acuerdo con estos resultados, el área útil del parque de edificios terciarios en el

año 2050 asciende a 1.027 km², con un crecimiento medio desde el año 2010 del 1,1%/a. Las figuras 6 y 7 muestran el reparto provincial para los dos subsectores

Figura 6 Reparto provincial de la superficie útil del parque de edificios residencial para el año 2050.

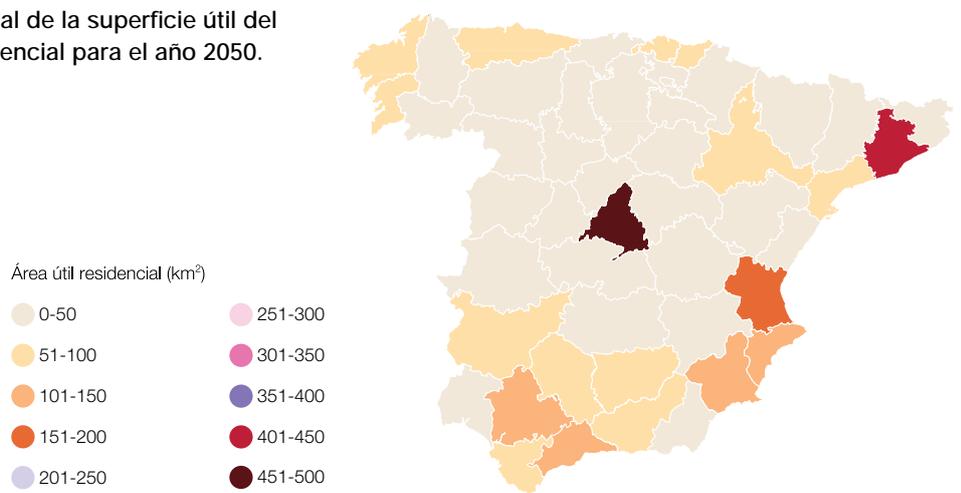
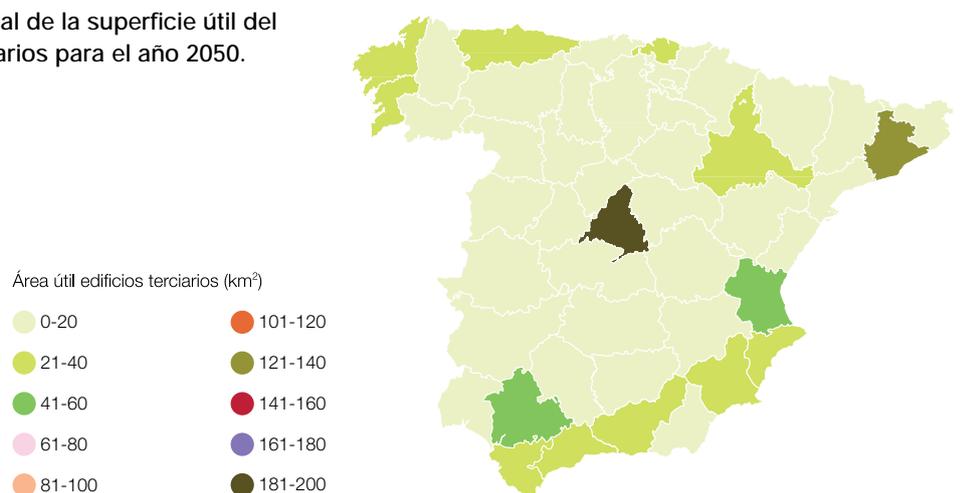


Figura 7 Reparto provincial de la superficie útil del parque de edificios terciarios para el año 2050.



4.4

Escenario de reparto modal entre tipologías de edificios

Una vez proyectada la superficie edificada, el siguiente paso es determinar cómo se va a utilizar esta superficie, es decir, el reparto modal entre las diferentes tipologías

de edificios. Al igual que la superficie este reparto modal también se va a considerar común para los dos contextos BAU y E3.0.

4.4.1 Tipologías de edificios

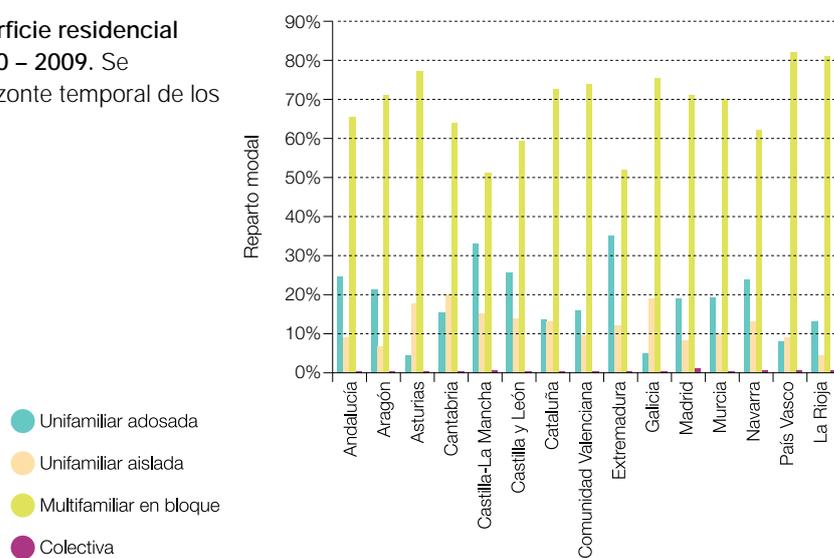
Para desarrollar el escenario de reparto modal es necesario establecer las tipologías de edificios más representativas en nuestro país. Para la elaboración

En el estudio del sector edificación para Energía 3.0 se consideran diez tipologías de edificios: oficina, almacén, comercio, educación, supermercado, restaurante, hospital, hotel y residencial (bloque de pisos y unifamiliar).

de este estudio, debido a la ausencia tanto de edificios de referencia, como de una caracterización completa del parque de edificios existentes, se han elegido las tipologías de los edificios de referencia del Departamento de Energía de EE.UU. (DOE Benchmark) que se consideran más representativas⁹. Además, en el marco de este informe se ha desarrollado un edificio de referencia representativo de los edificios residenciales unifamiliares.

Se consideran diez tipologías de edificios¹⁰: oficina, almacén, comercio, educación, supermercado, restaurante, hospital, hotel, residencial (bloque de pisos), y residencial unifamiliar (no bloque de pisos).

Figura 8 Reparto modal de la superficie residencial construida durante el periodo 2000 – 2009. Se considera representativo para el horizonte temporal de los escenarios desarrollados.



4.4.2 Reparto modal

Para el desarrollo del escenario de reparto modal representativo de las condiciones de 2050 se han tenido en cuenta los siguientes datos, diferenciando entre sector residencial y terciario.

El sector residencial se encuentra bastante caracterizado por los datos disponibles en el Instituto Nacional de Estadística (INE) y el Ministerio de Fomento. Se asume que el reparto modal de la superficie construida acumulada durante 2000-2009 por CC.AA. que se muestra en la figura 8, puede resultar representativo de las condiciones en el año 2050, ya que el pico de la construcción de edificios residenciales coincide con el periodo que contempla.

Para el sector terciario no se dispone de tanta información como para el residencial, por lo que se ha tomado como base la situación de EE.UU.¹¹ y se

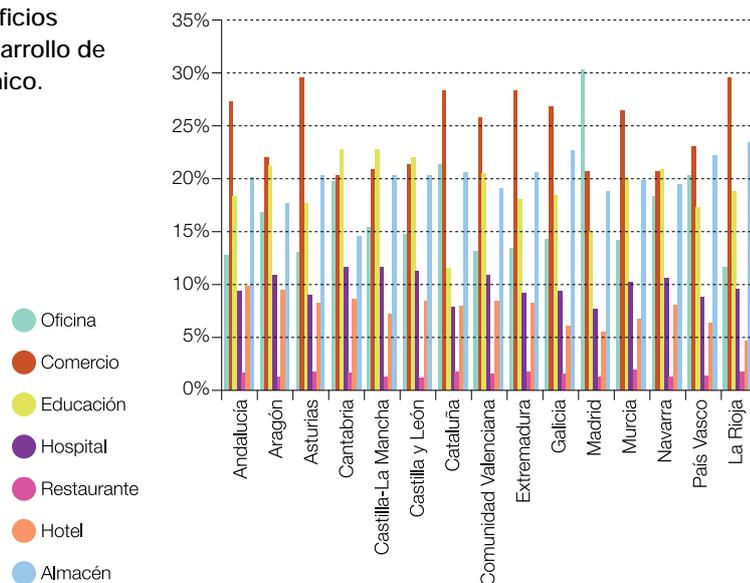
ha ponderado con la información nacional disponible correspondiente a la construcción esos últimos diez años, con los siguientes resultados por CC.AA.:

⁹ Lo ideal sería poder contar con una serie de modelos que se adapten mejor a las tipologías constructivas representativas del parque de edificios en España, lo cual implica, en primer lugar, proceder a una correcta caracterización estadística del parque. Estos modelos podrían, entonces, emplearse tanto para orientar la regulación energética del sector a objetivos, como para explorar en una base comparativa común las distintas medidas de eficiencia a implementar. Actualmente no se dispone de esta información en España, y escapa totalmente al alcance de este estudio el elaborarla.

¹⁰ Los modelos que representan cada tipología de edificio se pueden ver en el apartado 4.6, 'Escenarios de demanda energética por tipología de edificios'.

¹¹ Reparto modal del parque de edificios terciario en EE.UU. según la encuesta CBECS 2003.

Figura 9 Reparto modal del parque de edificios terciario en España adoptado para el desarrollo de los escenarios, con su desglose autonómico.



4.5

Componentes de la demanda energética y potencial de mejora

Una vez desarrollados los escenarios de superficie edificada y reparto modal, comunes para los dos contextos BAU y E3.0, el siguiente paso es establecer los niveles de eficiencia que se van a aplicar para cada tipología de edificio en los dos contextos.

En este apartado se recopilan los componentes básicos que implican la demanda energética de los edificios, con indicación de los niveles de eficiencia que se pueden alcanzar en cada escenario. Se han tenido en cuenta los componentes de la demanda relacionados con la envolvente del edificio, la iluminación, los equipamientos y la climatización. En el contexto E3.0 se han incorporado elementos pasivos¹² como los espesores de aislante, las roturas de puente térmico, la inercia térmica, las ganancias solares para calefacción, las protecciones solares, los techos fríos, la refrigeración por ventilación nocturna o la iluminación natural.

4.5.1 Envolvente del edificio

La envolvente constituye un elemento de gran importancia sobre las prestaciones energéticas del edificio para cubrir las demandas de confort, condicionando en gran medida sus demandas de climatización y de iluminación.

A continuación se analizan los elementos opacos y translúcidos que forman la envolvente del edificio y se dan indicaciones sobre las hipótesis realizadas sobre las mismas para configurar los contextos BAU y E3.0.

En cuanto a los cerramientos opacos, el nivel de aislamiento de paredes, suelos y cubierta constituye uno de los componentes principales para limitar la demanda energética del edificio de forma pasiva. En un contexto de máxima eficiencia, para minimizar en origen la demanda de energía del sector edificación, es necesario apurar al máximo las posibilidades de aislamiento de los cerramientos opacos del edificio.

En el estudio se emplea un aislante con requerimientos bioconstructivos y se optimizan los espesores de aislante para cada emplazamiento climático. Los espesores de

¹² Debido a la limitación del alcance del estudio no se han incorporado todos los elementos posibles de diseño solar pasivo, como la optimización de elementos de forma y orientación, así como las consideraciones de urbanismo bioclimático, ya que requerirían un análisis específico para cada edificio y lugar, por lo que el resultado al que se llega es conservador, y se deja un margen de mejora para el diseño de cada edificio particular.

Ya existen en el mercado ventanas termocrómicas (modifican sus características en función de la irradiación solar) y electrocrómicas (modifican sus características en función de una señal eléctrica). Su participación a mayor escala en el mercado no se encuentra tan alejada.

aislamiento¹³ óptimo de las paredes elegidos para el contexto E3.0 van desde valores del orden de 6 cm en Málaga, hasta valores de 33 cm en Burgos. Por tanto, así como en los emplazamientos de mayor severidad climática de invierno los espesores de aislamiento óptimos son del orden de los correspondientes al estándar empleados en la construcción de casas pasivas (Passive House en inglés), en los emplazamientos de menor severidad climática de invierno y dominados por la demanda de refrigeración no tiene sentido emplear espesores de aislamiento tan elevados.

En cualquier caso el nivel óptimo empleado, especialmente en los emplazamientos climáticos de mayor severidad climática, es muy superior a lo actualmente especificado por la regulación energética de edificios en España, Código Técnico de la Edificación (CTE). A modo de ejemplo, en Madrid el CTE exige del orden de 4 cm, el BAU 2050 implementa unos 9 cm, y el óptimo adoptado para el contexto E3.0 en un edificio residencial asciende a 24 cm (en Burgos, estos valores son respectivamente de 5 cm, 9 cm y 33 cm).

Los niveles de aislamiento en el **contexto de Eficiencia** difieren significativamente de un emplazamiento a otro, y conducen a una gran regularización espacial de la demanda de energía para climatizar los edificios dentro de la España peninsular.

En cuanto a los acristalamientos, desde el inicio del uso de las superficies acristaladas hasta ahora se ha avanzado mucho en la tecnología, y existe en la actualidad una gran cantidad de productos optimizados cada uno de ellos con una finalidad distinta. Así, se dispone de ventanas aislantes configuradas con diversas capas de acristalamientos con recubrimientos de baja emisividad, y gases de baja conductividad en las cámaras interiores. Así como de ventanas con recubrimientos de protección solar para evitar la entrada de radiación solar en temporada de refrigeración.

La mayor limitación actual de la tecnología es la ausencia de inteligencia, lo que les confiere la rigidez de verse atados a unos valores fijos sin modificar sus características. Y este precisamente es el camino

por el que cabe esperar que evolucionen más las superficies acristaladas. Ya existen en el mercado ventanas termocrómicas (modifican sus características en función de la irradiación solar) y electrocrómicas (modifican sus características en función de una señal eléctrica). Su participación a mayor escala en el mercado no se encuentra tan alejada¹⁴. Este comportamiento dinámico tiene que extenderse también a la capacidad aislante del acristalamiento para evitar la penalización que el acristalamiento introduce actualmente sobre el consumo energético del edificio.

En un **contexto de Eficiencia** se ha optado por configurar el acristalamiento basándose en capas¹⁵ disponibles en la actualidad. En este contexto se cuenta con un despliegue de inteligencia que proporciona un control dinámico de las características del acristalamiento, para conseguir los valores más bajos posibles del coeficiente de transferencia y los valores más elevados posibles del coeficiente de aporte solar.

Adicionalmente al acristalamiento, el contexto de Eficiencia introduce mejoras en los marcos donde se inserta, con capacidad para alterar los coeficientes de transferencia y de aporte solar según necesidades de climatización del interior.

4.5.2 Iluminación

La iluminación de los espacios interiores de los edificios constituye un elemento importante de la demanda energética en el sector edificación.

A lo largo del tiempo ha evolucionado de forma significativa la eficacia de las tecnologías empleadas para iluminación, pero también ha crecido la demanda. Aún así, existe un enorme potencial de mejora en la eficacia de las lámparas y en los rendimientos de las luminarias empleadas, así como la introducción de la iluminación natural y de los elementos de inteligencia.

Las eficacias luminosas de las lámparas que se encuentran en el mercado son todavía bastante bajas

¹³ Referidos a una conductividad del material de 0,04 W/mK.

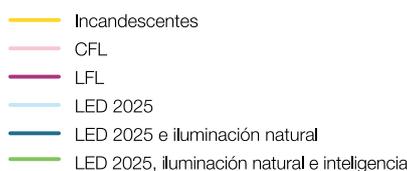
¹⁴ En el programa Net-zero Energy Commercial Building Initiative del Departamento de Energía de EE. UU. cuentan con que para el año 2015 el control dinámico de las ventanas permitirá variar la transmitancia luminosa entre el 65% y el 2%, y el coeficiente de aporte solar entre 0,53 y 0,09.

¹⁵ En el año 2050, con toda probabilidad, existirán nuevas capas con capacidad de obtener unas prestaciones significativamente mejores y con mayor simplicidad constructiva.

respecto al potencial tecnológico. Las implicaciones energéticas de acelerar el despliegue de las medidas de eficiencia, para la iluminación de los espacios interiores de los edificios, resultan evidentes en un contexto en el

que la demanda de servicios de iluminación crece con el PIB. En la figura 10 se muestra el impacto energético asociado a cubrir esta demanda de iluminación a medida que se van introduciendo distintas medidas de eficiencia.

Figura 10 Impacto sobre el consumo de energía asociado a satisfacer la demanda de servicios de iluminación al introducir distintas medidas de eficiencia (*Revolución Energética. Una perspectiva energética mundial sostenible*, Greenpeace, 2008).



Para el **contexto de Eficiencia** se consideran eficacias luminosas que irán de 180 lm/W hasta 220 lm/W según el tipo de espacios considerados, mientras que en el contexto BAU se limitarán las eficacias luminosas a valores máximos del orden de 110 lm/W. Además en el escenario de Eficiencia se hará un extensivo uso de la iluminación natural, tanto con el acristalamiento del edificio, como con los tubos de luz y la tecnología de fibra óptica en el interior del edificio. Adicionalmente, se incorporarán elementos de inteligencia en los sistemas de iluminación para ajustar el consumo de energía a la cobertura de la demanda real de servicios luminicos (controles de ocupación, adaptación espacio-temporal de la iluminancia a las necesidades reales, etc.).

Todas estas medidas hacen que las interacciones entre capacidad aislante de la envolvente y ahorro en iluminación por aportación de la iluminación natural se vean significativamente debilitadas, de tal forma que la relación de superficie acristalada en las fachadas no tenga un impacto tan grande sobre el consumo energético de los edificios y que no aparezca un óptimo pronunciado de este parámetro de diseño.

4.5.3 Equipamientos

Se incorpora a equipamientos todos los electrodomésticos, ordenadores y otras cargas

eléctricas, así como los equipamientos que consumen combustible como las cocinas, y otros equipos consumidores de energía asociados al desarrollo de la actividad del edificio.

Actualmente ya constituyen un elemento importante de consumo, pero la tendencia, sobre todo en el contexto de Eficiencia, es que lleguen a convertirse en componentes dominantes en muchas tipologías de edificios.

Existe un importante potencial de mejora en el consumo energético de los equipamientos. Esta mejora vendrá dada tanto por la reducción de las potencias nominales para desarrollar una cierta función, como por la aplicación de controles inteligentes, que permitan que el consumo del equipamiento se ajuste a las necesidades reales en cada momento. Se eliminarán los consumos de *stand by* y otros componentes parásitos.

En el **contexto de Eficiencia** se incorporan niveles de ahorro potencial en los equipamientos eléctricos más comunes que, en términos de la potencia instalada, representan reducciones del 50 % al 75 % según el tipo de edificio y de uso considerado.

Por lo que respecta a los equipamientos de cocina, que en el BAU operan con gas natural, para el contexto de Eficiencia se considera su electrificación, lo que permite alcanzar niveles de reducción de potencia instalada en

Uno de los elementos tecnológicos que caracteriza el contexto de Eficiencia es la completa electrificación de la cobertura de la demanda térmica (calor, frío y ACS), que emplea las bombas de calor para todos esos usos.

el aparato del orden del 50 %¹⁶, a lo que se añade la aplicación de controles inteligentes.

Por lo que se refiere a los equipamientos más específicos de proceso, y en particular para aquellos con condiciones críticas de uso, como es el caso de los hospitales, los niveles de ahorro considerados han sido más conservadores, y se sitúan en torno a un 30 % - 40 % según el tipo de equipamiento¹⁷.

Estas estimaciones de potencial de ahorro de los equipamientos introducidas hay que considerarlas como una primera aproximación dentro del alcance de este estudio, pero quedan lejos de una cuantificación más precisa del potencial de ahorro que existe en esta componente de consumo energético de los edificios.

4.5.4 Generación de calor y frío: bombas de calor

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 geotérmicas¹⁸).

Las bombas de calor transvasan calor desde un foco frío a un foco caliente. Según se aprovecha la transferencia de calor en el foco frío o caliente, la bomba de calor funciona proporcionando frío o calor. También es posible operar la bomba de calor en modo recuperativo lo que proporciona simultáneamente frío y calor útiles, con lo que su rendimiento se incrementa de forma muy importante.

En la actualidad y en el contexto BAU, la demanda de frío se cubre con electricidad mediante el empleo de bombas de calor trabajando en modo frío, es decir, bombeando calor fuera del espacio a refrigerar (sea el clásico aparato de aire acondicionado, en el caso de enfriar una habitación, o un frigorífico/congelador, en el caso de refrigeración para conservar alimentos). Sin embargo la

demanda de calor para calefacción y ACS se encuentra dominada, tanto en la actualidad como en el escenario BAU, por procesos de combustión.

Sin embargo, uno de los elementos tecnológicos que caracteriza el **contexto de Eficiencia** es la completa electrificación de la cobertura de la demanda térmica (calor, frío y ACS), empleando para todos estos usos las bombas de calor.

En un contexto de Eficiencia, el coeficiente de emisiones del sistema eléctrico es cero (generación basada en energías renovables), por lo que la bomba de calor alcanza su máxima ventaja respecto a las tecnologías de combustión para la generación de energía térmica. Pero incluso, como ya se indicó en el capítulo de planteamientos, ya en las condiciones actuales del sistema eléctrico español las bombas de calor resultan ventajosas en cuanto a emisiones respecto a las de una caldera de gas.

El potencial de mejora de la eficiencia de las bombas de calor es muy elevado, de tal forma que en un contexto de Eficiencia podrá alcanzar valores superiores a un coeficiente de rendimiento (COP) de 6,5. Los refrigerantes considerados en este contexto son refrigerantes naturales como el isobutano y el CO₂.

Por último, los niveles térmicos de los focos frío y caliente afectan a la eficacia de las bombas de calor. Esto justifica los distintos valores de COP y los potenciales de mejora que se encuentran en distintas aplicaciones (producción de frío, calefacción, refrigeración de alimentos, producción de ACS, etc.) y que se muestran a continuación.

En cuanto a la **generación de frío**, en la figura 11 se presentan los valores límite termodinámicos del COP, así como los valores máximos a alcanzar, considerando unos saltos de temperatura en evaporador y condensador que permitan desarrollar la transferencia de calor. Para el contexto de Eficiencia se asigna un porcentaje (del orden del 85 %) del COP_{max} mostrado en esta figura.

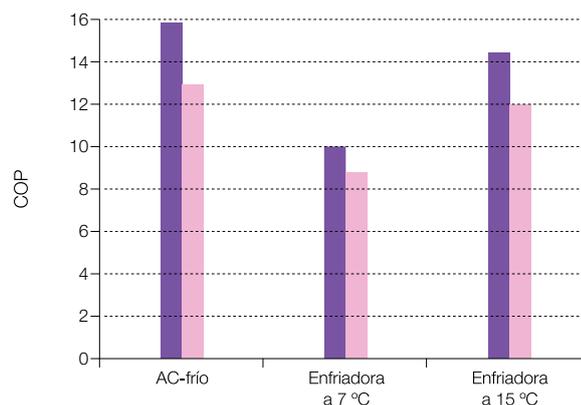
¹⁶ En términos de reducción del consumo, algunos modelos de cocinas de inducción actuales ya proporcionan mayores niveles de ahorro respecto a las cocinas de gas.

¹⁷ Dada la limitada accesibilidad a la información técnica de estos equipos, se ha optado por asumir una mejora más conservadora. Sería necesario desarrollar un estudio más específico que escape al alcance de este proyecto para cuantificar con más precisión el potencial de ahorro de estos equipamientos.

¹⁸ En este estudio no se ha incorporado explícitamente las bombas de calor geotérmicas en el desarrollo de los escenarios E3.0, ya que para que su inversión sea rentable exige que las demandas de calefacción y refrigeración del edificio se encuentren equilibradas, situación que no se da en muchos emplazamientos climáticos de España. Esto no significa que esta tecnología no pueda jugar su papel en la transición hacia el contexto E3.0.

Figura 11 Valores límite termodinámico del COP, y valores máximos a alcanzar del COP considerando los saltos de temperatura requeridos para el intercambio de calor en condensador y evaporador, para distintos equipos de generación de frío (AC = acondicionador de aire; enfriadora agua-agua).

● COP límite Carnot
● COP_max

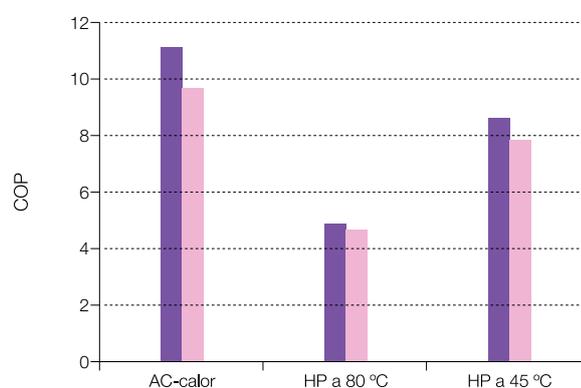


En cuanto a la **generación de calor**, el uso de las bombas de calor para calefacción hasta la fecha está menos extendido por la dificultad que conlleva para estos aparatos el operar a temperaturas exteriores bajas (la bomba geotérmica puede suplir este problema, pero no es tan adecuada en zonas donde no se consiga equilibrar las condiciones térmicas del suelo entre verano e invierno). En la actualidad se está empezando a superar este problema y se fabrican máquinas capaces de trabajar a temperaturas de -20°C .

En la figura 12 se presentan los COP límite termodinámico y los COP máximos al tener en cuenta los gradientes térmicos necesarios para distintas bombas de calor (aire-aire y aire-agua). Como se puede observar en esta figura, en el caso de las máquinas aire-agua la reducción de la temperatura del circuito de agua caliente proporciona un importante margen de mejora. Los valores implementados en el contexto de Eficiencia han sido un porcentaje (del orden del 85 %) de los COP_{max} que se indican.

Figura 12 Valores límite termodinámico del COP y valores máximos a alcanzar del COP considerando los saltos de temperatura requeridos para el intercambio de calor en condensador y evaporador, para distintos equipos de generación de calor con tecnología de bomba de calor. AC = acondicionador de aire que trabaja en modo calor; HP = bomba de calor aire-agua; HPa80 °C = bomba de calor que trabaja contra un circuito de distribución de agua a 80 °C; HPa45 °C = bomba de calor que trabaja contra un circuito de distribución de agua a 45 °C.

● COP límite Carnot
● COP_max



En cuanto al **agua caliente sanitaria (ACS)**, el uso de bombas de calor es muy limitado. En la actualidad están experimentando un mayor crecimiento gracias a la introducción del CO_2 como fluido refrigerante.

Para la configuración del contexto de Eficiencia se ha supuesto que el ACS se produce principalmente mediante bombas de calor aire-agua. En la figura 13 se muestran los valores límite termodinámico del coeficiente

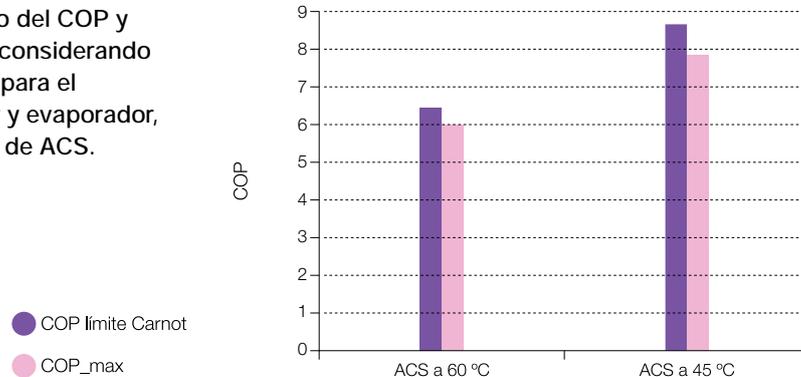


Varios carros de la compra a la entrada de un supermercado en Madrid.

de rendimiento de estas bombas de calor, así como los valores máximos que cabría esperar al tener en cuenta los saltos de temperatura necesarios al trabajar sin procesos recuperativos. De forma conservadora se ha asumido un COP = 7 para el contexto de Eficiencia en

la mayoría de las situaciones, si bien este valor se ha reducido a COP = 6,5 en aquellas aplicaciones con baja demanda de frío. Por lo que se refiere a la demanda de ACS, en la mayoría de los casos se ha asumido igual en el contexto BAU que en el de Eficiencia.

Figura 13 Valores límite termodinámico del COP y valores máximos a alcanzar del COP considerando los saltos de temperatura requeridos para el intercambio de calor en condensador y evaporador, para distintos equipos de generación de ACS.



En el contexto de Eficiencia con un sistema energético integrado, con generación renovable que proporciona electricidad residual y con bombas de calor muy eficientes para la producción de ACS, queda menos justificada la inversión adicional en un sistema de energía solar térmica. Sin embargo, es de esperar que en el proceso de transición la solar térmica siga jugando un papel importante, por lo que en el horizonte del escenario que contemplamos es posible que cuente con una participación en la cobertura de la demanda. De acuerdo con esto la hipótesis que se considera es que existirá una capacidad de energía solar térmica para producción de ACS, que en la media de todo el parque de edificios corresponderá al 50 % del valor estipulado en la legislación actual para los edificios nuevos¹⁹.

En cuanto a las aplicaciones de refrigeración comercial, la refrigeración de alimentos o medicinas es otra de las aplicaciones para una bomba de calor. En este caso las temperaturas del foco frío vienen condicionadas por los

requerimientos de conservación de la sustancia interior y pueden oscilar entre 2 °C y -25 °C según los casos.

Por otro lado, cuando estos equipos de refrigeración cuentan con condensadores exteriores, como es el caso, por ejemplo, de los supermercados, el proceso de refrigeración de la mercancía genera una carga simultánea de calefacción en la zona donde se encuentra el equipo, motivo por el que los procesos recuperativos cobran importancia.

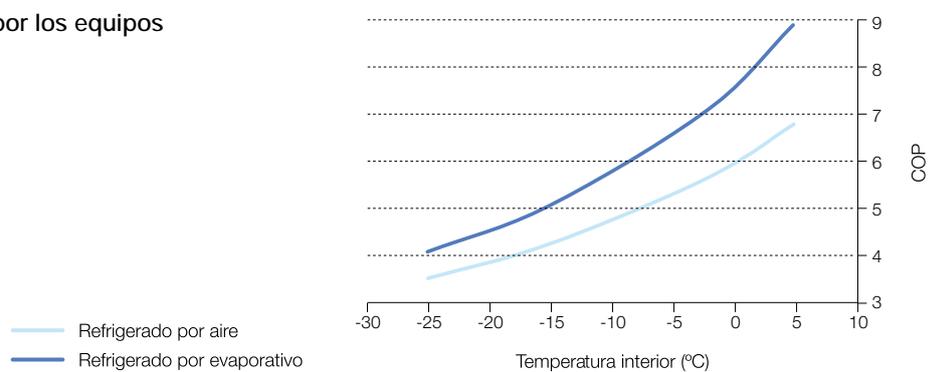
En el contexto BAU se van a suponer valores del COP de estas bombas de calor del orden de los actuales que pueden oscilar entre 2,5 para aplicaciones de media temperatura y 1,3 para aplicaciones de baja. En el **contexto de Eficiencia** se explota el potencial de mejora de estos equipos al reducir la demanda de frío mediante: sistemas inteligentes que minimicen las ganancias térmicas; la mejora de los sistemas de iluminación que llevan incorporados y la mejora del rendimiento de los ventiladores y procesos de desescarche.

¹⁹ Este porcentaje es, sobre todo, el parque de edificios en el año 2050, muchos de los cuales ya fueron construidos antes de la entrada en vigor del CTE. Es decir, este valor promedio queda constituido por la contribución de un porcentaje cercano al 100% de la exigencia regulatoria en los edificios construidos según CTE (inferior al 100% porque los edificios construidos hasta la actualidad, en promedio, no incorporan el 100% de esta exigencia ni en proyecto, ni en cuanto a generación real, pero con el paso del tiempo cabe que vaya mejorando), y una contribución mucho más baja pero significativa del resto del parque de edificios, en los que se presupone que los nuevos mecanismos de incentiación de la solar térmica activarán cierto nicho de mercado.

En la figura 14 se muestran los valores de rendimiento que pueden alcanzar los equipos de refrigeración para una temperatura exterior de 40 °C y una humedad relativa

del 50 %, tanto para el caso del condensador refrigerado por aire como para el del condensador evaporativo.

Figura 14 COP alcanzable por los equipos de refrigeración.



En el contexto de Eficiencia no se ha implementado el condensador evaporativo por considerar que el consumo de agua asociado no compensaba la mejora en prestaciones energéticas.

Por otro lado, los COP considerados en el caso E3.0 son más conservadores que los presentados en la figura 14, al haber considerado unos saltos de temperatura más elevados en los intercambiadores y un acercamiento al límite teórico del orden del 90 %.

En cuanto a los **procesos recuperativos de las bombas de calor**, éstos se pueden dar en el caso de que en el mismo momento un edificio pueda necesitar frío y calor, por ejemplo, en verano producción de ACS y demanda de refrigeración. Existen otras situaciones, como edificios en invierno con elevada superficie acristalada y un nivel elevado de demanda de equipamientos e iluminación; en estos edificios puede coexistir una demanda de calefacción en las zonas exteriores y de refrigeración en las interiores. Otras situaciones pueden darse con aplicaciones de refrigeración de alimentos en un edificio con requerimientos de calefacción.

La aplicación de procesos recuperativos en los escenarios se ha limitado a un cierto porcentaje de recuperación en las aplicaciones de refrigeración de

alimentos y en un pequeño efecto sobre el rendimiento de generación de ACS.

El proceso recuperativo que se ha implementado mayoritariamente en el contexto de Eficiencia es el asociado a la recuperación térmica del aire de ventilación mediante un intercambiador de calor.

En cuanto a la **distribución de energía térmica**, una vez generado el calor o el frío hay que distribuirlo con la consiguiente pérdida que se ocasiona durante el transporte. Los medios de transmisión pueden ser: aire, agua o un fluido refrigerante.

Para la elaboración del escenario de Eficiencia, en la mayoría de los casos se emplean sistemas de distribución por aire²⁰. Se ha considerado una mejora del rendimiento de los ventiladores, de los motores eléctricos y una reducción de la caída de presión en los conductos.

Adicionalmente, en algunos casos se han mantenido sistemas de velocidad constante, y no se han introducido sistemas de ventilación según demanda. Por tanto, se considera que existe potencial de mejora respecto al contexto E3.0 desarrollado, por lo que los resultados presentados deben entenderse como valores conservadores del potencial de ahorro que se puede alcanzar.

²⁰ Si bien, tanto desde el punto de vista de eficiencia como de potencial de activación de gestión de la demanda, los sistemas radiantes de distribución por agua resultan más apropiados.

Ya en las condiciones actuales del sistema eléctrico español las bombas de calor resultan ventajosas en cuanto a emisiones respecto a las de una caldera de gas.

4.6

Escenarios de demanda energética por tipología de edificio

En este epígrafe se muestra el consumo energético de los diferentes tipos de edificio elegidos para los escenarios de Continuidad y de Eficiencia en 2050. La información se presenta por provincias.

Para el cálculo de la estructura de la demanda de energía final en todos los tipos de edificios se ha descontado la aportación solar térmica local, para contabilizar la energía final adicional que el sistema energético deberá cubrir.

En cada tipología de edificio se muestra la estructura del consumo energético para dos emplazamientos climáticos extremos (Almería y Burgos), y la recopilación de los resultados, tanto BAU como E3.0, por provincias. Además se muestra la fracción de consumo de energía total, regulada²¹ y de climatización del escenario E3.0 respecto al BAU.

Como se verá a lo largo del desarrollo de este capítulo la aplicación de medidas de eficiencia en el escenario E3.0 tiene como resultado que la demanda de climatización prácticamente se pueda anular, y la demanda de iluminación se pueda reducir mucho. El mayor porcentaje de la demanda resultante en el contexto E3.0 será la asociada a los equipamientos internos.

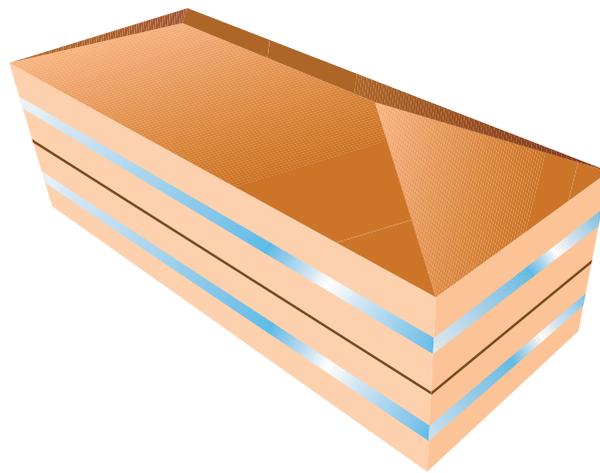
El despliegue de eficiencia asociado al contexto E3.0 conduce a una gran uniformización espacial de la demanda energética de todos los tipos de edificios. De hecho, excepto aquellos edificios con un gran peso de las cargas de proceso (supermercado, hospital, restaurante, y en menor medida hotel) la demanda de energía final se uniformiza bastante entre los distintos tipos de edificios, de tal forma que en edificios residenciales, de oficina, comercios, o centros educativos, la demanda correspondiente al contexto E3.0 es bastante parecida y del orden de 20 kWh/m²-a.

Otro de los elementos que conviene resaltar respecto a la evolución del contexto BAU al E3.0, es que además de una gran reducción del consumo de energía, éste

experimenta una gran regularización a lo largo del año. Esto se debe a que el consumo energético para cubrir la demanda de climatización se reduce tanto que los equipamientos pasan a dominar la demanda energética, por lo que se pierde, en gran medida, la dependencia climática del consumo de energía asociado a los edificios.

4.6.1 Residencial unifamiliar

Figura 15 Edificio de referencia residencial unifamiliar, representativo de 3 viviendas adosadas de 84 m² cada una. Área acondicionada = 252 m².



En la figura 16 se muestra la estructura del consumo final de energía (EUI)²² en dos emplazamientos climáticos extremos, Almería y Burgos, para los contextos BAU y E3.0. Mientras que en un contexto de Continuidad la mayor demanda energética total corresponde a la provincia con mayor severidad climática en invierno, con una demanda de 157 kWh/m²-a, en un contexto de Eficiencia la demanda de esta provincia queda reducida a 25 kWh/m²-a.

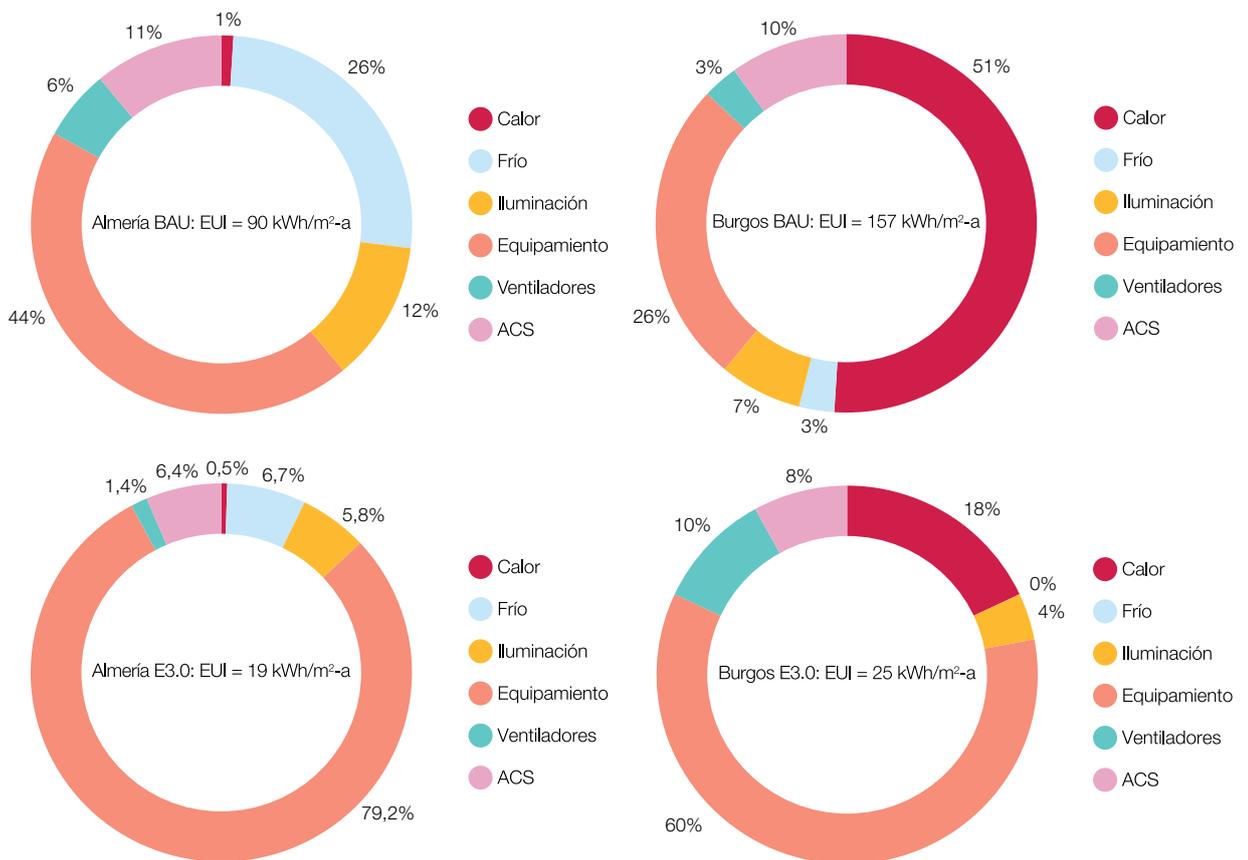
²¹ El término energía regulada se refiere a aquellos componentes de consumo que están regulados por la legislación actual de edificación. En el caso de los edificios residenciales, esto deja fuera, entre otros, a los consumos para iluminación y para equipamiento.

²² La Intensidad de Uso Energético (siglas del inglés EUI) corresponde al consumo total de energía final en términos específicos, al desconectar el aporte autónomo de la solar térmica para la cobertura parcial del ACS.

Se puede observar que al evolucionar hacia un contexto de Eficiencia, los equipamientos constituyen la componente principal del consumo energético, que en el

caso de Almería representa un 79% de la demanda y en el caso de Burgos un 60%, debido a la mayor demanda de calefacción en este último caso.

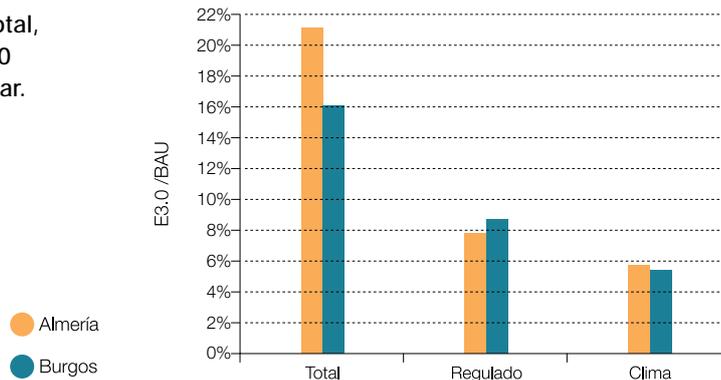
Figura 16 Estructura de la demanda final de energía para vivienda unifamiliar, en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU y E3.0.



El incremento de eficiencia al pasar del contexto BAU a un contexto de Eficiencia se puede observar en la figura 17. En términos de energía total los ahorros alcanzados llegan a ser del orden del 80% - 85%, porcentaje que aumenta al considerar los ahorros en

términos de energía regulada y de climatización, que alcanza, en este último, niveles de ahorro del orden del 95%. Este ahorro se debe principalmente a la reducción de la demanda del edificio y a la gran eficiencia de las bombas de calor.

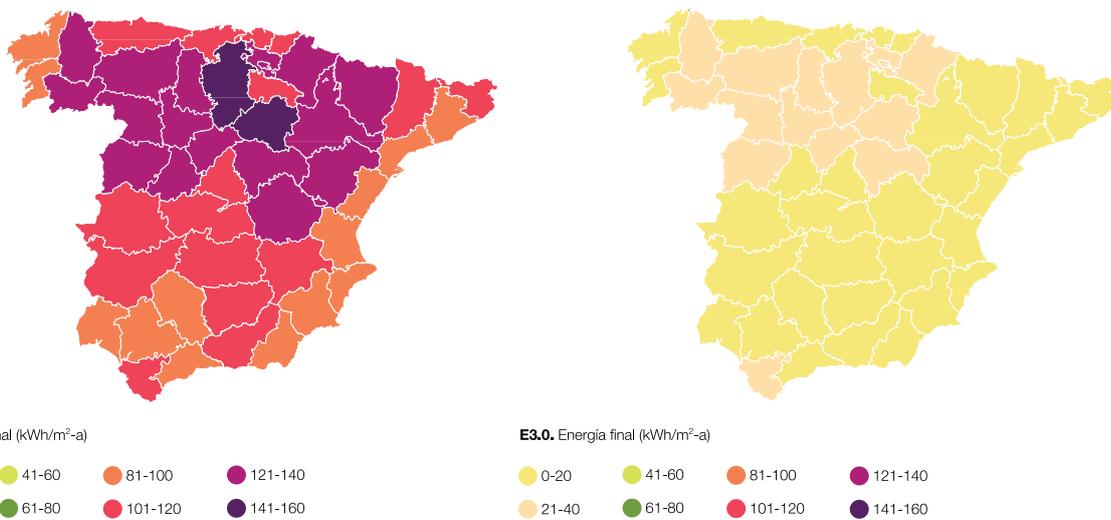
Figura 17 Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Vivienda unifamiliar.



En la distribución provincial se observa que en el escenario BAU los emplazamientos con mayor consumo de energía final corresponden a aquellas provincias con mayor severidad climática de invierno. Mientras que en el escenario E3.0 en todos los emplazamientos se alcanza

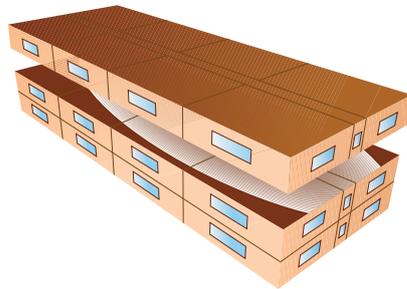
un elevado nivel de ahorro, con una distribución muy homogénea del consumo total de energía. Esto es debido al considerable ahorro en la demanda de climatización de los edificios y a que la mayor parte del gasto energético se centra en equipamientos.

Figura 18 Distribución provincial del consumo total de energía final para viviendas unifamiliares, escenarios BAU y E3.0.



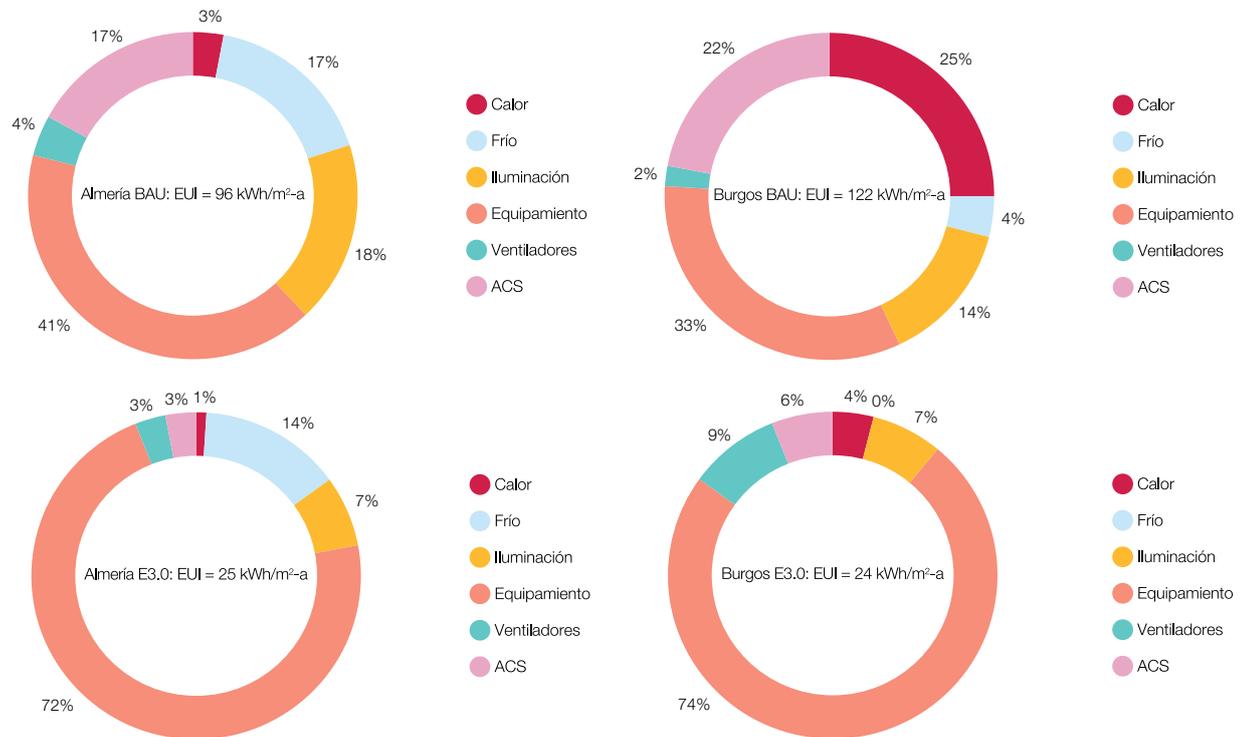
4.6.2 Residencial en bloque

Figura 19 Residencial bloque. Edificio de referencia de residencial²³: bloque de pisos. Corresponde al DOE Benchmark. Área climatizada = 3.135 m².



En la figura 20 se muestra la estructura de la demanda final de energía en dos emplazamientos climáticos extremos, Almería y Burgos, para los contextos BAU y E3.0. En un contexto de menor eficiencia la mayor demanda energética total corresponde a la provincia con mayor severidad climática en invierno, con una demanda de 122 kWh/m² -a. En un contexto de Eficiencia la demanda de esta provincia queda reducida a 24kWh/m² -a, por debajo incluso de la provincia más cálida, debido fundamentalmente a la disminución en el requerimiento de calefacción. En un contexto de Eficiencia, e independientemente de la zona climática donde se sitúen, el mayor requerimiento energético de este tipo de edificios corresponde a los equipamientos, y es en Almería un 72% y en Burgos un 74% de la demanda total de energía del edificio.

Figura 20 Estructura de la demanda final de energía para un bloque de viviendas en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU y E3.0.



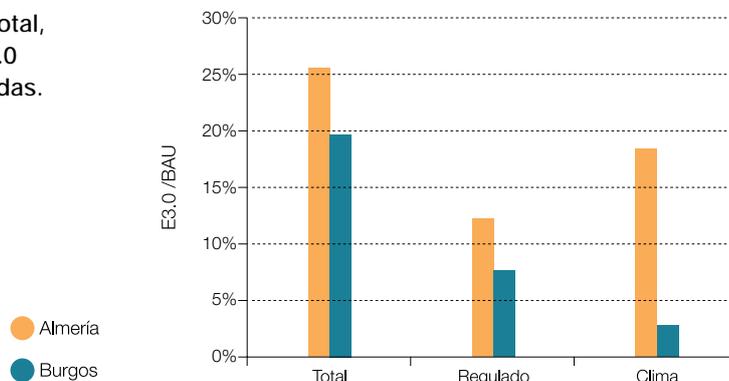
²³ Corresponde a un edificio de cuatro pisos, de los cuales solo se muestran tres porque el segundo y tercero son térmicamente equivalentes.

Es de esperar que en el proceso de transición la solar térmica siga jugando un papel importante.

En la figura 21 se puede observar el incremento de eficiencia al pasar del contexto BAU a un contexto de Eficiencia. En términos de energía total los ahorros alcanzados llegan a ser del orden del 80%, porcentaje que aumenta al considerar los ahorros en términos de energía regulada y de climatización. La climatización

alcanza, para el caso de emplazamientos de elevada severidad climática de invierno, niveles de ahorro del orden del 97%. Esto ocurre principalmente por la reducción de la demanda del edificio y por la gran eficiencia de las bombas de calor.

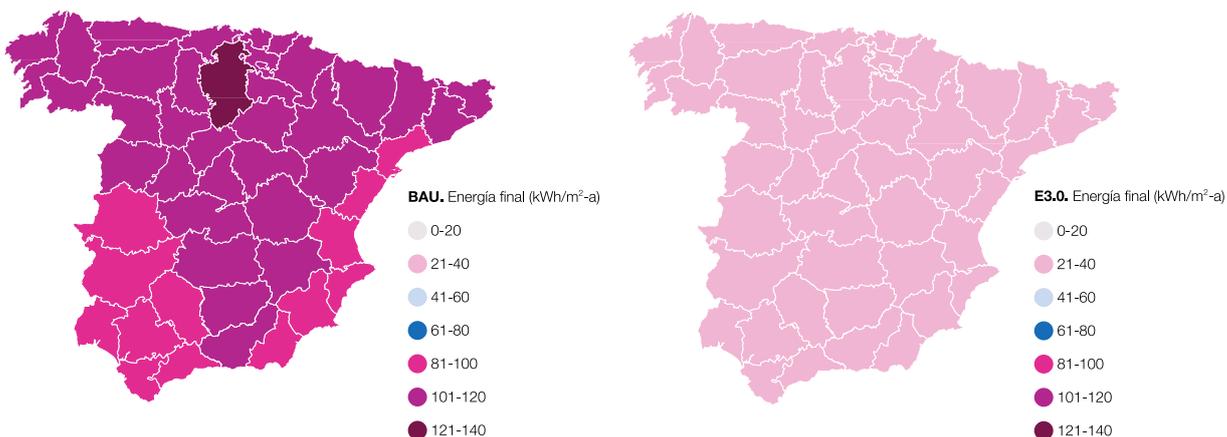
Figura 21 Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Bloque de viviendas.



En la distribución provincial se observa que en el escenario BAU los emplazamientos con mayor consumo de energía final corresponden a aquellas provincias con mayor severidad climática de invierno. En el escenario E3.0 en todos los emplazamientos se alcanza un elevado

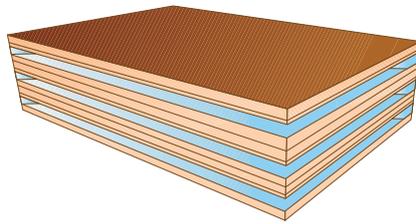
nivel de ahorro, con una distribución muy homogénea del consumo total de energía, debido al considerable ahorro en la demanda de climatización de los edificios y a que la mayor parte del gasto energético se centra en equipamientos.

Figura 22 Distribución provincial del consumo total de energía final para bloque de viviendas, escenarios BAU y E3.0.



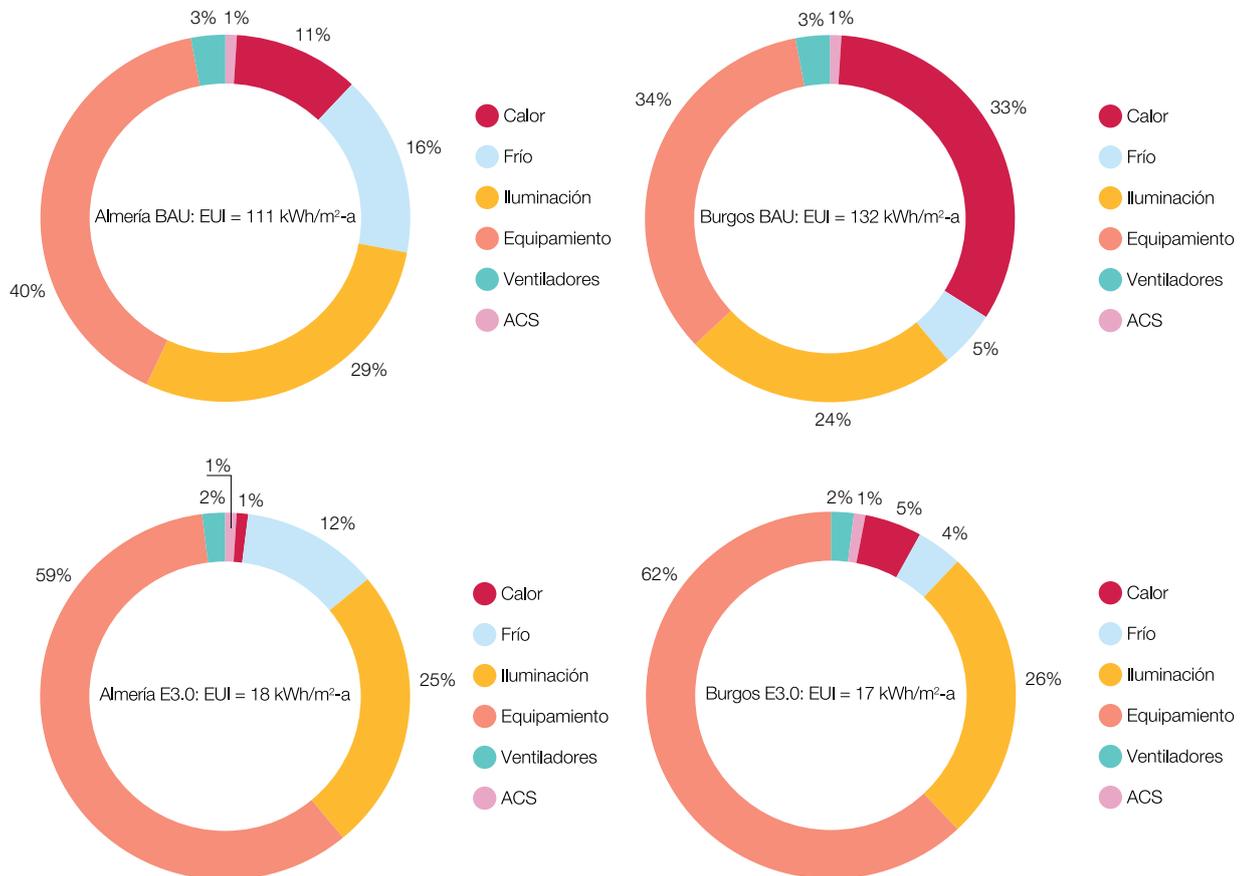
4.6.3 Oficina

Figura 23 Edificio de referencia de oficinas.
Corresponde al oficina media del DOE Benchmark.
Área climatizada = 4.982 m².



En la figura 24 se muestra la estructura de la demanda final de energía en dos emplazamientos climáticos extremos, Almería y Burgos, para los contextos BAU y E3.0. En un contexto de Continuidad la mayor demanda energética total corresponde a la provincia con mayor requerimiento de calefacción, con una demanda de 132 kWh/m² -a. En un contexto de Eficiencia la demanda de esta provincia queda reducida a 17 kWh/m² -a, por debajo incluso de la provincia más cálida. En un contexto de Eficiencia el mayor requerimiento de energía de este tipo de edificios corresponde a los equipamientos, un 59% en Almería y un 62% en Burgos, seguido de la demanda en iluminación, que representa un porcentaje del 25% y un 26% respectivamente.

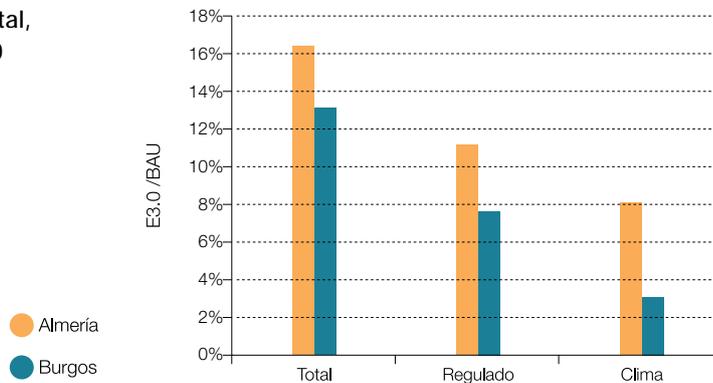
Figura 24 Estructura de la demanda final de energía para oficinas en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU y E3.0.



En la figura 25 se puede observar el incremento de eficiencia al pasar del contexto BAU a un contexto de Eficiencia. En términos de energía total los ahorros alcanzados llegan a ser del orden del 86 %. Este porcentaje aumenta al considerar los ahorros en términos de energía regulada y de climatización que, para el caso

de emplazamientos de elevada severidad climática de invierno, alcanza niveles de ahorro del orden del 98 %. Este ahorro se debe principalmente a la reducción de la demanda del edificio y a la gran eficiencia de las bombas de calor.

Figura 25 Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Oficina.



En la distribución provincial se observa que en el escenario BAU los emplazamientos con mayor consumo de energía final corresponden a zonas con más requerimiento de calefacción. En el escenario E3.0 en todos los emplazamientos se alcanza un elevado nivel

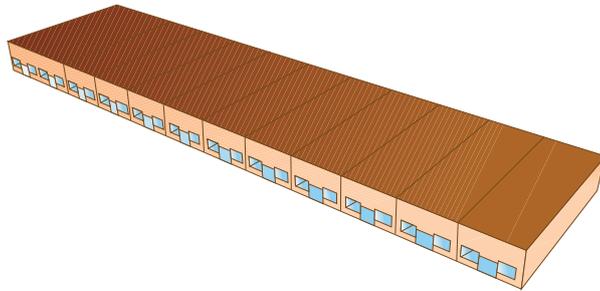
de ahorro con una distribución muy homogénea del consumo total de energía. Este nivel se alcanza debido al considerable ahorro en la demanda de climatización de los edificios y a que la mayor parte del gasto energético se centra en equipamientos e iluminación.

Figura 26 Distribución provincial del consumo total de energía final para oficina, escenarios BAU y E3.0.



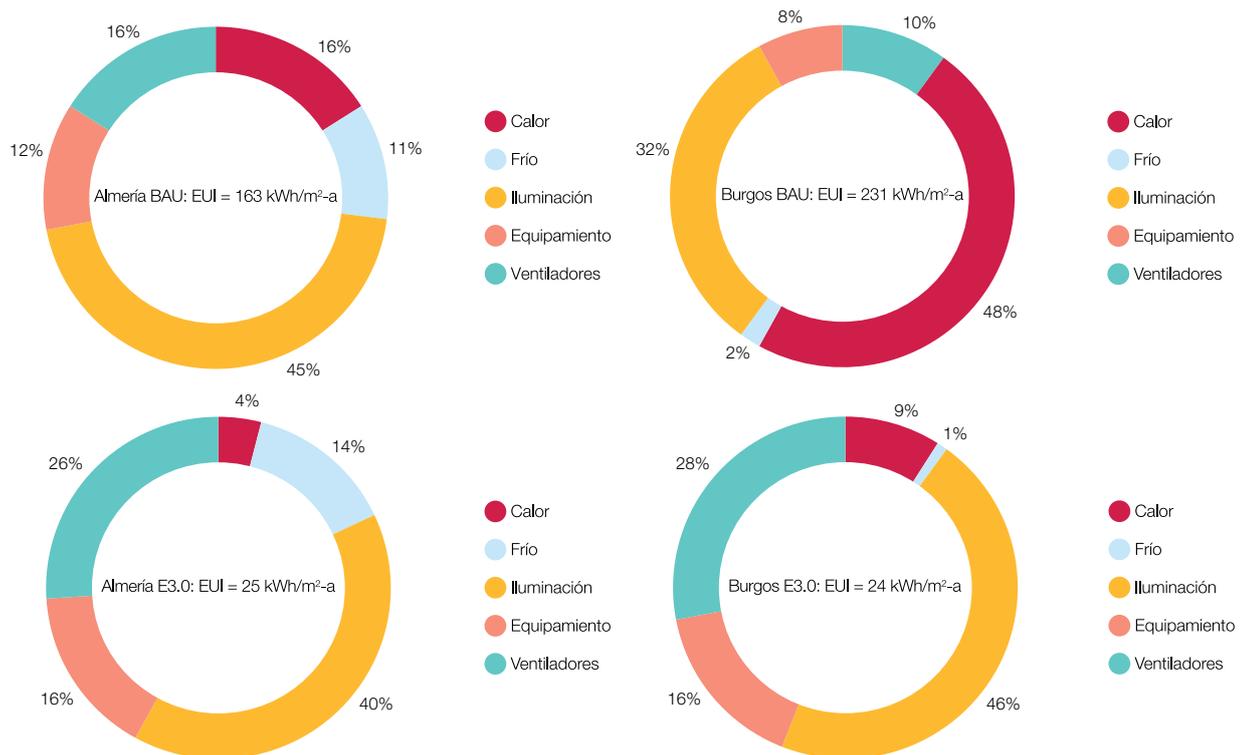
4.6.4 Comercio

Figura 27 Edificio de referencia de comercio.
Corresponde al centro comercial (strip mall) de DOE
Benchmark. Área climatizada = 2.090 m².



En la figura 28 se muestra la estructura de la demanda final de energía en dos emplazamientos climáticos extremos, Almería y Burgos, para los contextos BAU y E3.0. En un contexto de menor eficiencia la mayor demanda energética total corresponde a la provincia con mayor severidad climática en invierno, con una demanda de 231 kWh/m² -a. En un contexto de Eficiencia la demanda de esta provincia queda reducida a 24kWh/m² -a - por debajo incluso de la provincia más cálida- debido fundamentalmente a la disminución en el requerimiento de calefacción. En un contexto de Eficiencia las dos provincias tienen prácticamente la misma demanda total de energía, y en Almería es ligeramente superior. En ambos casos la iluminación representa el mayor requerimiento de energía de este tipo de edificios y es del 40% en Almería y del 46% en Burgos. Seguido de los equipamientos que representan el 26% y el 32%, respectivamente, de la estructura de la demanda.

Figura 28 Estructura de la demanda final de energía para comercio en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU y E3.0.

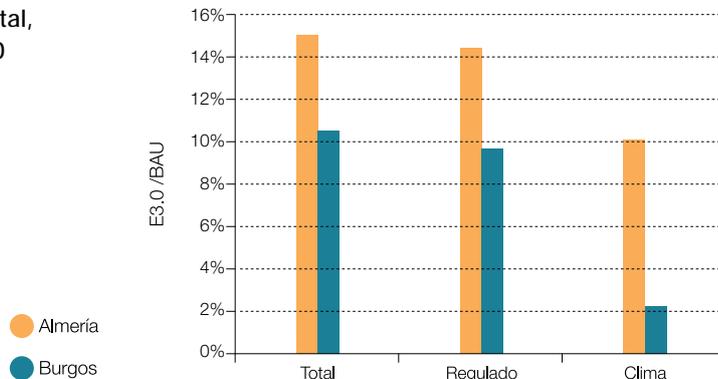


La aplicación de medidas de eficiencia en el escenario E3.0 tiene como resultado que la demanda de climatización prácticamente se pueda anular, y la demanda de iluminación se pueda reducir mucho.

En la figura 29 se puede observar el incremento de eficiencia al pasar del contexto de menos eficiencia a un contexto de Eficiencia. En términos de energía total los ahorros alcanzados llegan a ser del orden del 88 %, que se incrementan al considerar los ahorros en términos de

energía regulada y de climatización, que alcanza para el caso de emplazamientos de elevada severidad climática en invierno niveles de ahorro del orden del 98 %. Esto se debe principalmente a la reducción de la demanda del edificio y a la gran eficiencia de las bombas de calor.

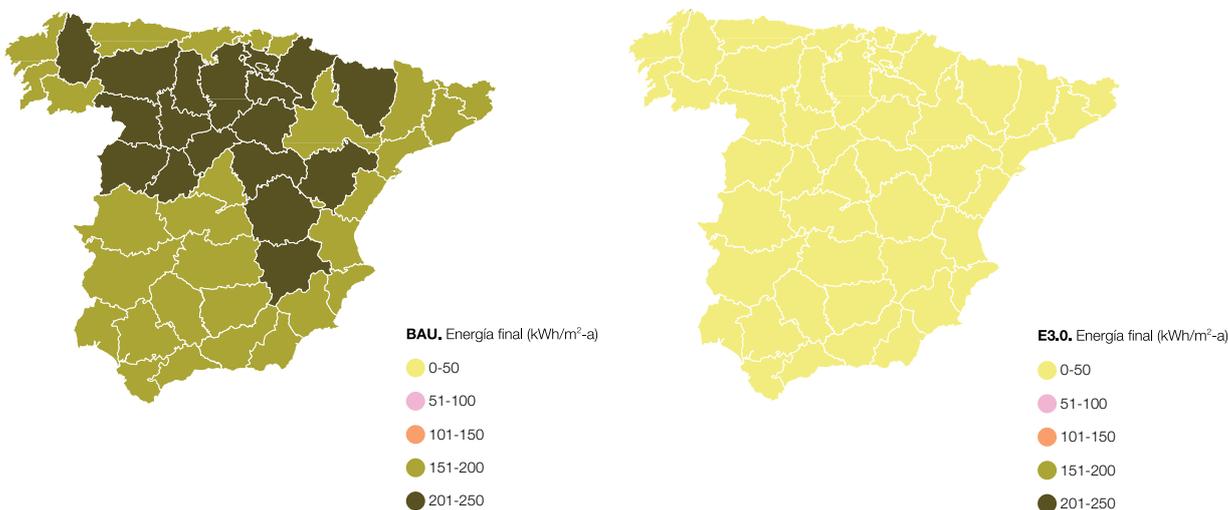
Figura 29 Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Comercio.



En la distribución provincial se observa que en el escenario BAU los emplazamientos con mayor consumo de energía final corresponden a zonas con más requerimiento de calefacción. Mientras que en el escenario E3.0 en todos los emplazamientos se alcanza

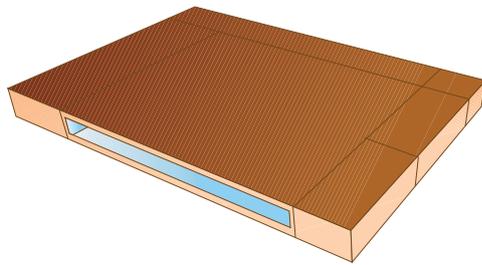
un elevado nivel de ahorro, con una distribución muy homogénea del consumo total de energía. Esto se produce debido al considerable ahorro en la demanda de climatización de los edificios y el mayor peso relativo de iluminación y equipamientos.

Figura 30 Distribución provincial del consumo total de energía final para comercio, escenarios BAU y E3.0.



4.6.5 Supermercado

Figura 31 Edificio de referencia de supermercado. Corresponde al DOE Benchmark. Área climatizada = 4.181 m². Se diferencia del resto de comercios por la gran necesidad de refrigeración que tiene asociada a la conservación de alimentos.



En la figura 32 se muestra la estructura de la demanda final de energía en dos emplazamientos climáticos extremos, Almería y Burgos, para los contextos BAU y E3.0. Se puede observar el importante efecto de la refrigeración de alimentos sobre la estructura de la demanda energética, tanto por su efecto directo sobre el consumo eléctrico, como por su efecto indirecto sobre la demanda de calefacción. En el contexto de Eficiencia se consigue acotar mucho la demanda de calefacción lo que, junto a las mejoras en iluminación, hace que la refrigeración y los equipamientos dominen la estructura de la demanda energética.

Figura 32 Estructura de la demanda final de energía para supermercado en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU y E3.0.

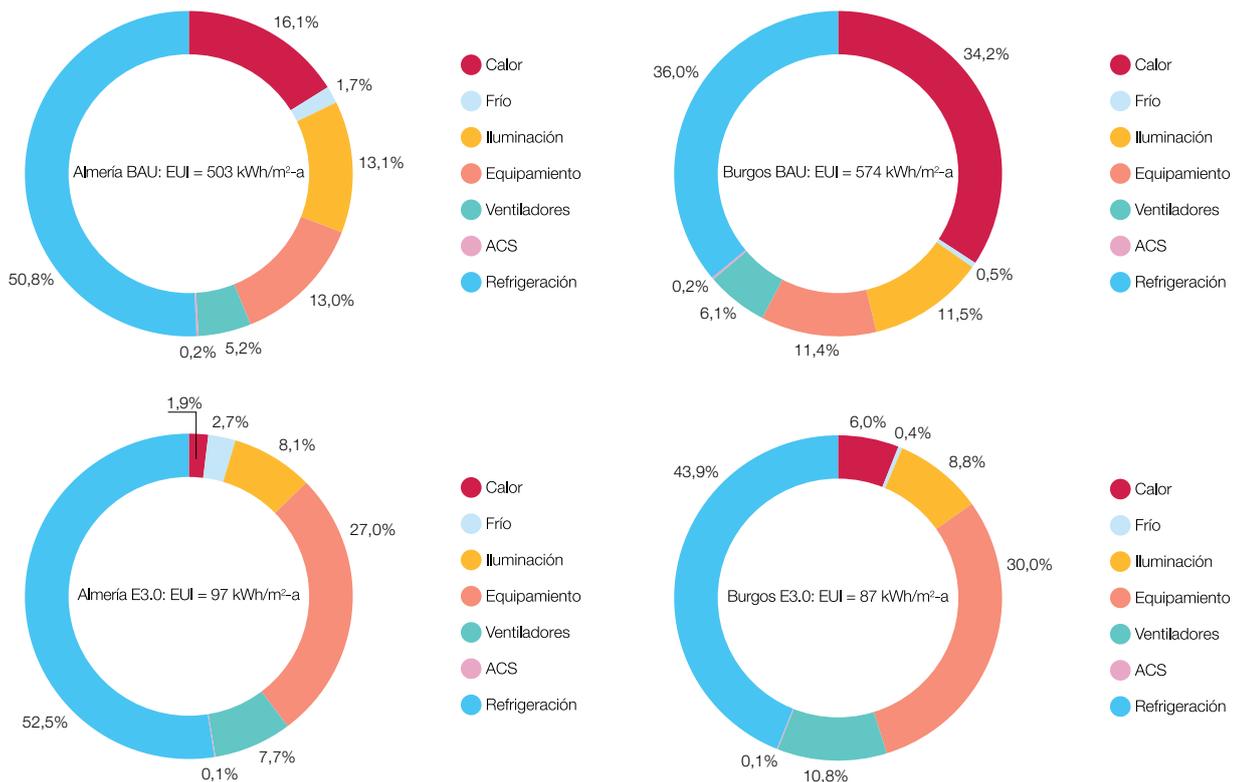


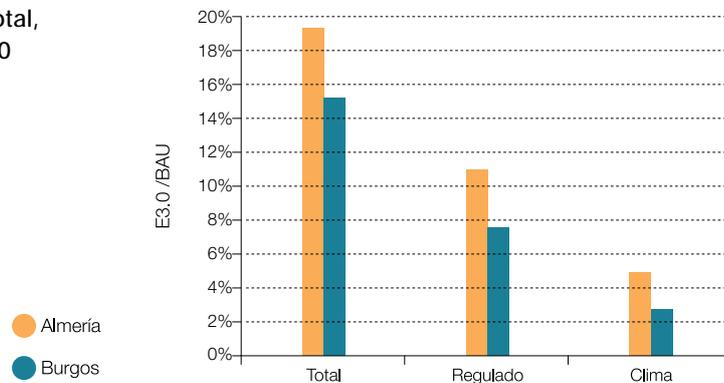


Imagen general del Colegio Valdebernardo (Madrid).

En la figura 33 se puede observar el incremento de eficiencia al pasar del contexto BAU a un contexto E3.0. En términos de energía total, los ahorros alcanzados llegan a ser del orden del 84 %, que se incrementan al considerar los ahorros en términos de energía regulada, que en el sector terciario incluye iluminación. En este caso,

para emplazamientos de elevada severidad climática de invierno se obtienen niveles de ahorro del orden del 92 % en energía regulada y del 97 % en climatización. La gran reducción de la demanda de climatización del edificio y la gran eficiencia de las bombas de calor para cubrir esta demanda residual son la causa de estos niveles de ahorro.

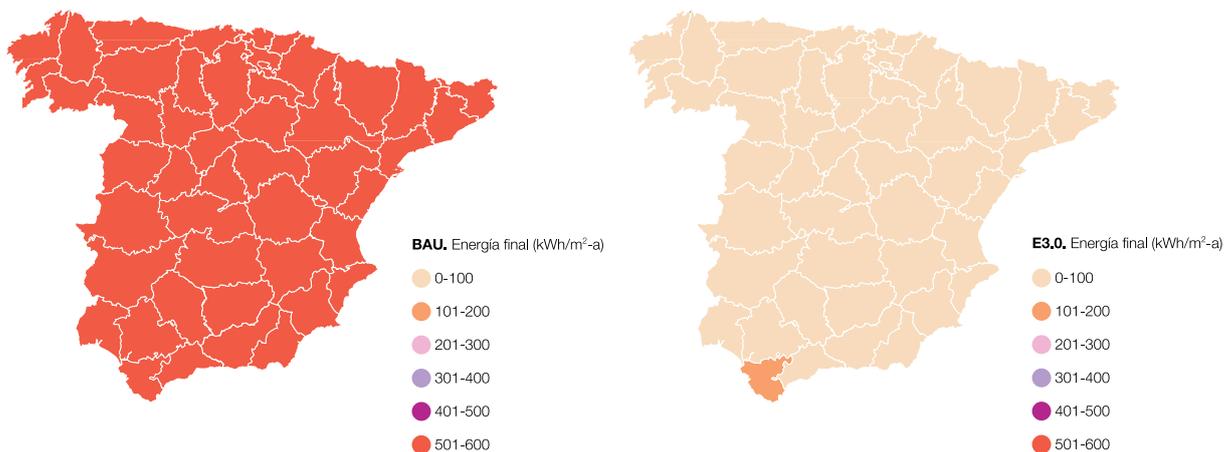
Figura 33 Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Supermercado.



En la distribución provincial se observa que en el escenario BAU los emplazamientos con mayor consumo de energía final, por encima de 560 kWh/m² -a, corresponden a las provincias con más demanda de calefacción. Mientras que en el escenario E3.0 en todos

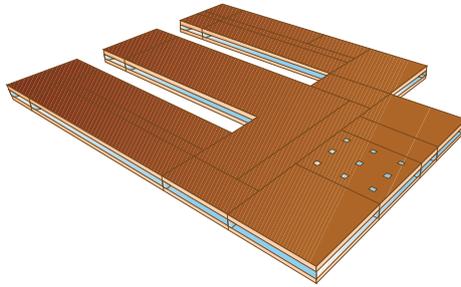
los emplazamientos se alcanza un elevado nivel de ahorro con una distribución muy homogénea del consumo total de energía. Esto es debido al considerable ahorro en la demanda de climatización de los edificios y a un mayor requerimiento en refrigeración y equipamientos.

Figura 34 Distribución provincial del consumo total de energía final para supermercado, escenarios BAU y E3.0.



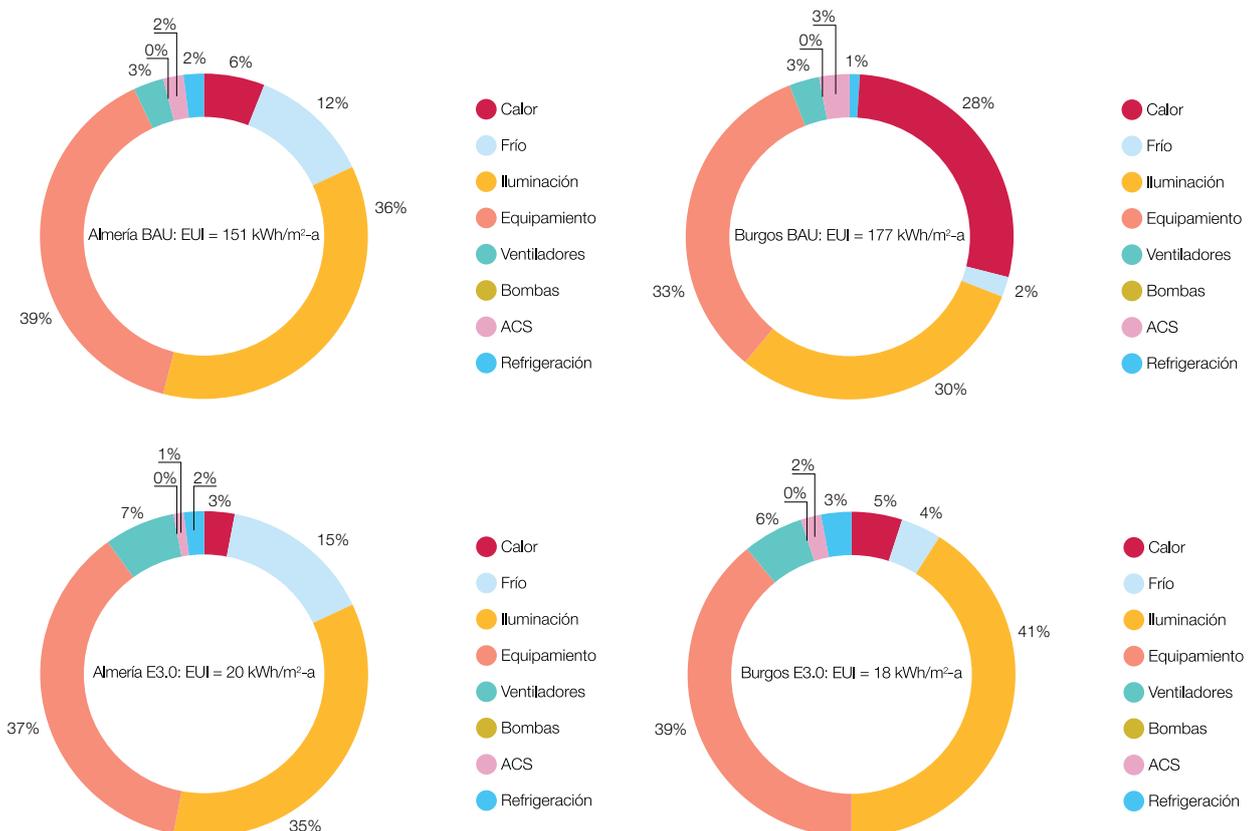
4.6.6 Centro educativo

Figura 35 Edificio de referencia de educación.
Corresponde a la escuela primaria de DOE Benchmark.
Área climatizada = 6.871 m².



En la figura 36 se muestra la estructura de la demanda final de energía en dos emplazamientos climáticos extremos, Almería y Burgos, para los contextos BAU y E3.0. Se puede observar como incluso en un contexto de menos eficiencia esta tipología queda dominada por los consumos de iluminación y equipamiento. Para el contexto BAU la demanda de energía final se sitúa, en el caso de Almería, en 151 kWh/m² -a y, en el caso de Burgos, en 177 kWh/m² -a. En el contexto de Eficiencia este dominio se hace todavía más contundente por la reducción de los consumos asociados a la climatización y queda reducido a 20 y 18 kWh/m² -a respectivamente.

Figura 36 Estructura de la demanda final de energía para centro educativo en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU y E3.0.

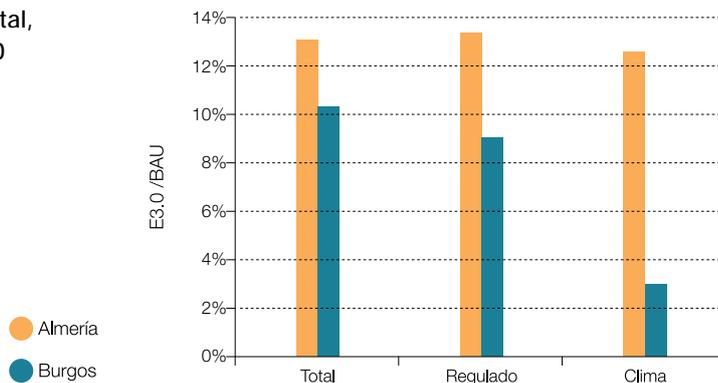


En todos los emplazamientos en el escenario E3.0 se alcanza un elevado nivel de ahorro con una distribución muy homogénea del consumo total de energía. Se debe al ahorro en la demanda de climatización y a que la mayor parte del gasto energético se centra en equipamientos e iluminación.

En la figura 37 se puede observar el incremento de eficiencia al pasar del contexto BAU a un contexto Energía 3.0. En términos de energía total los ahorros alcanzados llegan a ser del orden del 88% que se incrementan al considerar los ahorros en términos de energía regulada, que en el sector terciario incluye iluminación. Los ahorros en términos de climatización para los emplazamientos con elevada severidad climática

en invierno pueden llegar a ser del 98%. Sin embargo, en el caso de Almería, con mayor severidad climática de verano, las medidas de eficiencia introducidas no consiguen reducir el peso relativo de la demanda de climatización, dominada por los requerimientos de frío. Este es el motivo por el que el orden de magnitud de la reducción total, regulada y de clima, son similares al pasar de un contexto de Continuidad a un contexto de Eficiencia.

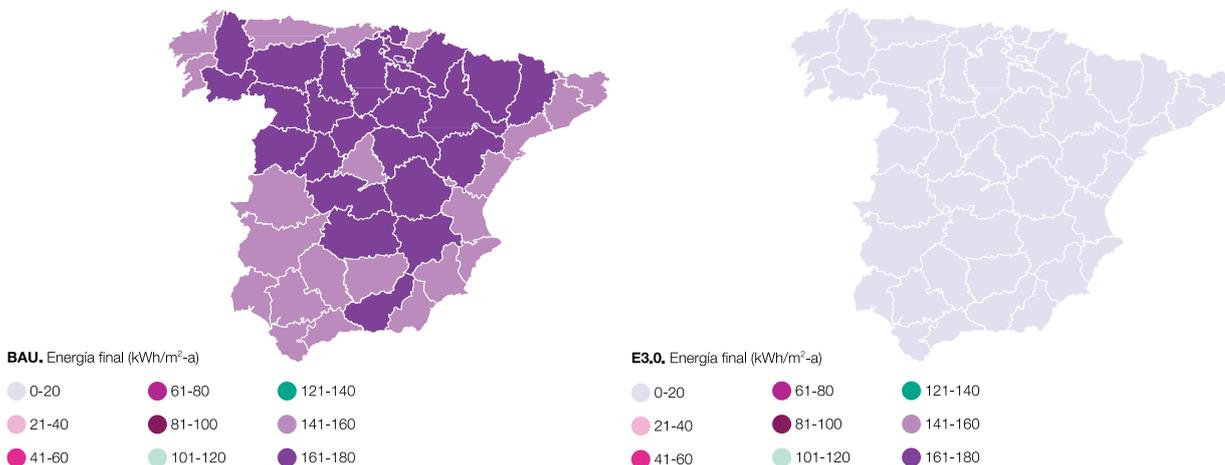
Figura 37 Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Centro educativo.



En la distribución provincial se observa que en el escenario BAU los emplazamientos con mayor consumo de energía final son las provincias con mayor severidad climática en invierno. Mientras que en el escenario E3.0

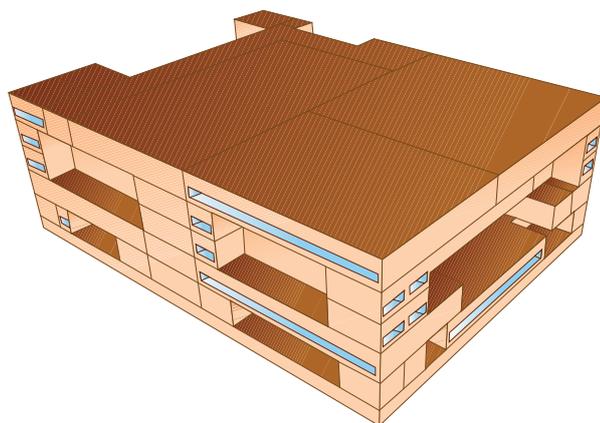
en todos los emplazamientos se alcanza un elevado nivel de ahorro y se obtiene una distribución muy homogénea del consumo total de energía.

Figura 38 Distribución provincial del consumo total de energía final para centro educativo, escenarios BAU y E3.0.



4.6.7 Hospital

Figura 39 **Edificio de referencia de hospital**²⁴.
Corresponde al DOE Benchmark.
Área climatizada = 22.422 m².



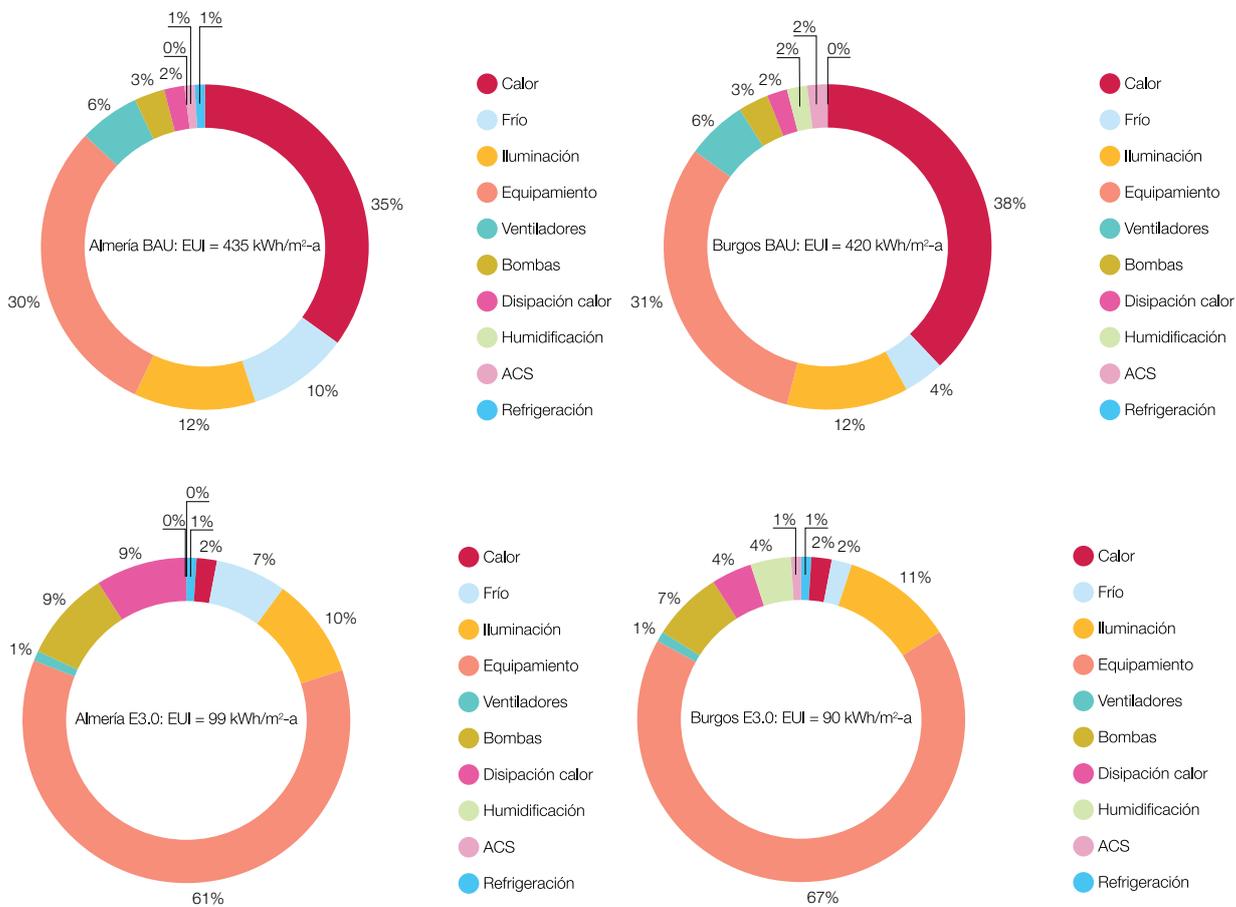
En la figura 40 se muestra la estructura de la demanda final de energía en dos emplazamientos climáticos extremos, Almería y Burgos, para los contextos BAU y E3.0. Se puede observar cómo en el contexto BAU las estrictas consignas de temperatura y los elevados periodos de operación hacen que la demanda de climatización, y en particular la de calefacción, constituyan el componente más importante de la estructura de consumo. Y es la demanda de energía total en Burgos de 420 kWh/m² -a, algo inferior a la de Almería de 435 kWh/m² -a.

En el contexto de Eficiencia el consumo para climatización se reduce mucho de forma que pasa a ser uno de los componentes menos importantes de la estructura de demanda. El principal consumo energético son los equipamientos que llegan a representar el 61% de la estructura de la demanda para Almería y el 67% para Burgos. La demanda de energía total se reduce²⁵ considerablemente y queda en 99 kWh/m² -a y en 90kWh/m² -a respectivamente.

²⁴ Los huecos que se observan son una consecuencia gráfica del uso de multiplicadores en el modelo energético, pero realmente están ocupados por estancias como las que se encuentran en los límites de los huecos.

²⁵ En el caso del hospital existe un margen de mejora ya que hay una gran cantidad de equipamiento crítico al que no se han aplicado medidas de eficiencia de gran alcance, solo se han aplicado medidas de eficiencia en equipamientos en la zona administrativa del hospital. Tampoco se han introducido medidas adicionales en el contexto de Eficiencia sobre el peso relativo del bombeo y disipación de calor.

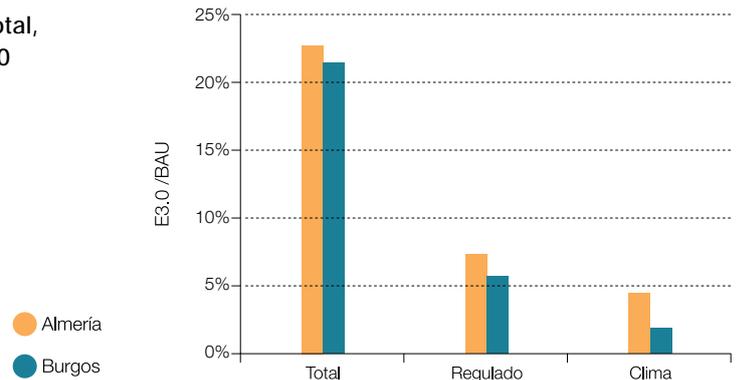
Figura 40 Estructura de la demanda final de energía para hospital en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU y E3.0.



En la figura 41 se puede observar el incremento de eficiencia al pasar del contexto de Continuidad al contexto de Eficiencia. En términos de energía total los ahorros alcanzados llegan a ser del orden del 80 %. Este porcentaje se incrementa al considerar los ahorros en términos de climatización, que para el caso

de emplazamientos de elevada severidad climática de invierno llega a ser del 98 %. La reducción de la demanda es debida a la aplicación de aislamiento adecuado, y a la gran eficiencia de las bombas de calor. La parte que queda fuera del alcance de la regulación (equipamientos) es significativa.

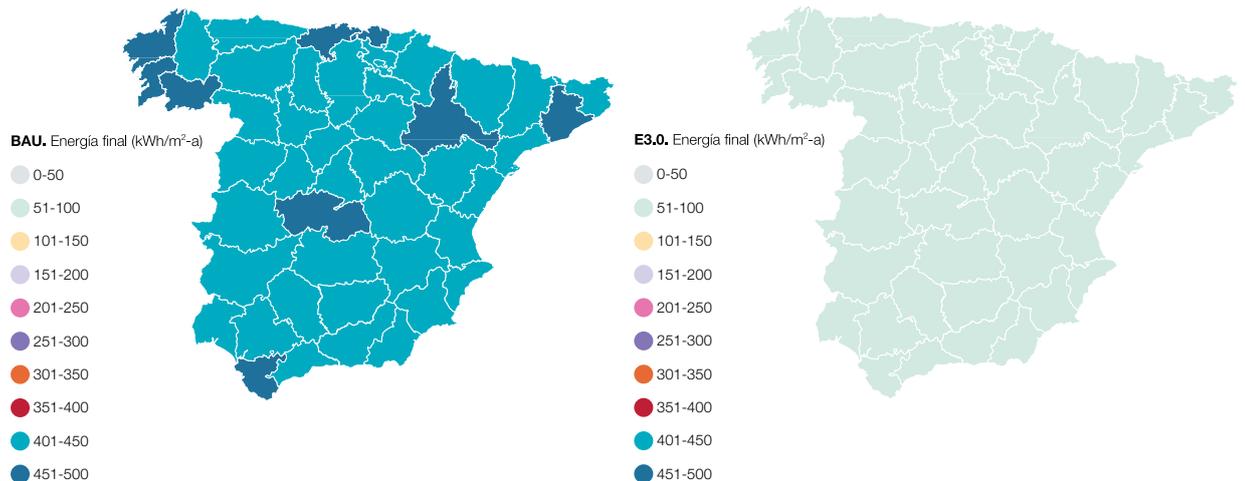
Figura 41 Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Hospital.



En la distribución provincial se observa que en el escenario BAU los emplazamientos con mayor consumo de energía final se sitúan en Bilbao y Barcelona. En el escenario E3.0 en todos los emplazamientos se alcanza un elevado nivel de ahorro con lo que se obtiene una

distribución muy homogénea del consumo total de energía. Esto es debido al considerable ahorro en la demanda de climatización de los edificios y a un mayor requerimiento en refrigeración y equipamientos.

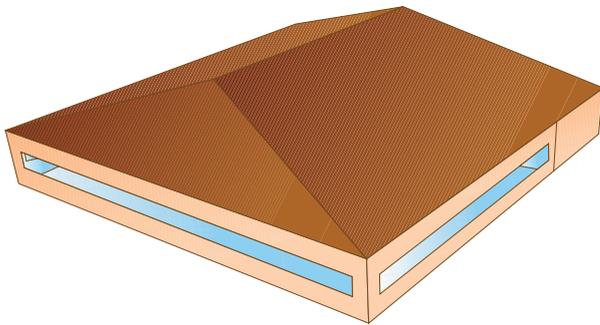
Figura 42 Distribución provincial del consumo total de energía final para hospital, escenarios BAU y E3.0.



El nivel de ahorro alcanzado prácticamente en todas las tipologías de edificios analizadas, en términos de consumo de energía total final, ronda el 80% sin considerar aportaciones locales con renovables.

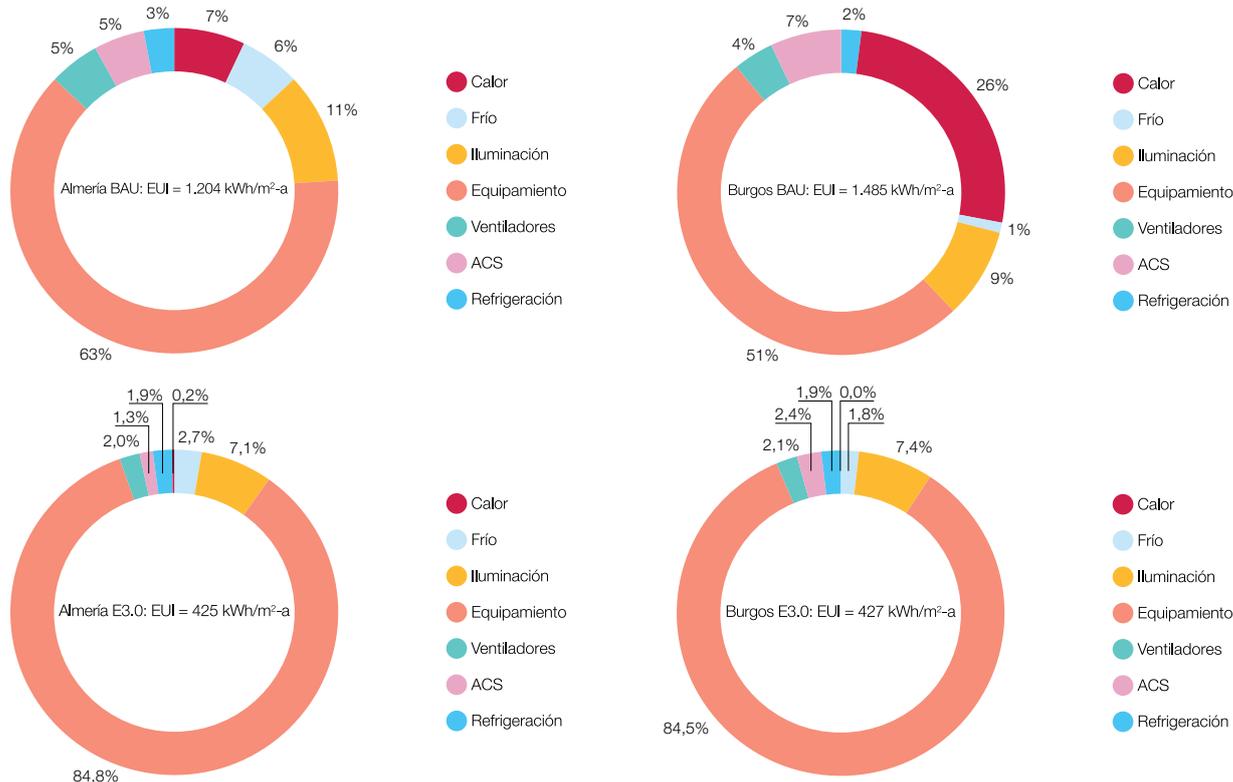
4.6.8 Restaurante

Figura 43 Edificio de referencia de restaurante. Corresponde al DOE Benchmark. Área climatizada = 511 m².



En la figura 44 se muestra la estructura de la demanda final de energía en dos emplazamientos climáticos extremos, Almería y Burgos, para los contextos BAU y E3.0. Se puede observar como incluso en el contexto BAU los equipamientos constituyen el componente más importante de la estructura de consumo, y la demanda de energía total es en ambas provincias muy elevada, en Burgos de 1.485 kWh/m² -a, y la de Almería de 1.204 kWh/m² -a. Al pasar al contexto de Eficiencia el consumo para climatización se reduce mucho, de forma que pasa a ser uno de los componentes menos importantes de la estructura de demanda. Sin embargo, los equipamientos llegan a representar casi el 85% de la estructura de la demanda para ambos emplazamientos. La demanda de energía total se reduce y es muy similar en ambos emplazamientos.

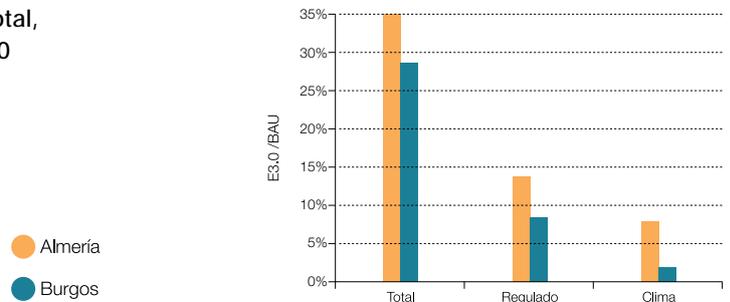
Figura 44 Estructura de la demanda final de energía para restaurante en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU y E3.0.



En la figura 45 se puede observar el incremento de eficiencia al pasar del contexto BAU a un contexto E3.0. En términos de energía total los ahorros alcanzados llegan a ser del orden del 70%, porcentaje que se incrementa al considerar los ahorros en términos de energía regulada o de climatización. En el caso de

emplazamientos de elevada severidad climática de invierno se obtienen niveles de ahorro del orden del 98%. Esto se debe a la reducción de la demanda por la aplicación de niveles de aislamiento adecuados, la implementación de procesos recuperativos y a la gran eficiencia de las bombas de calor.

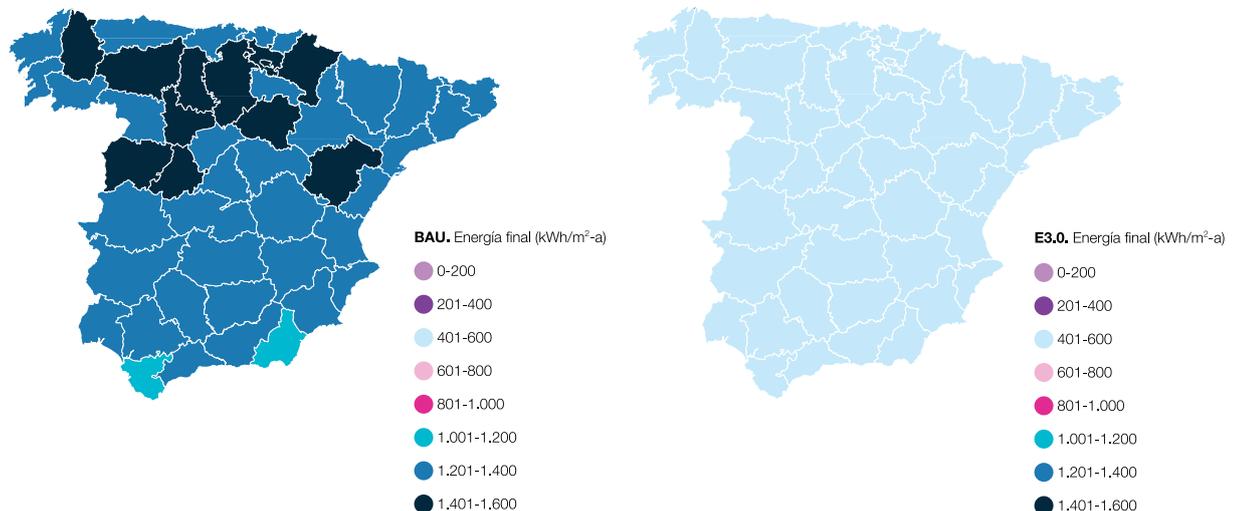
Figura 45 Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Restaurante.



En la distribución provincial se observa que en el escenario BAU los emplazamientos con mayor consumo de energía final corresponden a las provincias más frías. En el escenario E3.0 en todos los emplazamientos se

alcanza un elevado nivel de ahorro, y se obtiene una distribución muy homogénea del consumo total de energía debido al considerable ahorro en la demanda de climatización de los edificios.

Figura 46 Distribución provincial del consumo total de energía final para restaurante, escenarios BAU y E3.0.

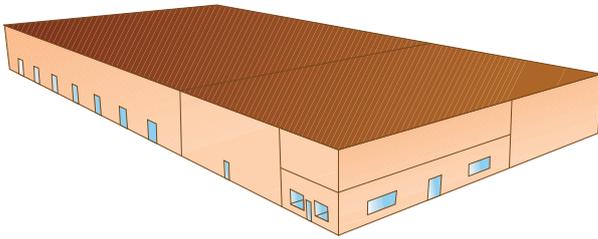




Centro comercial La Gavia (Madrid).

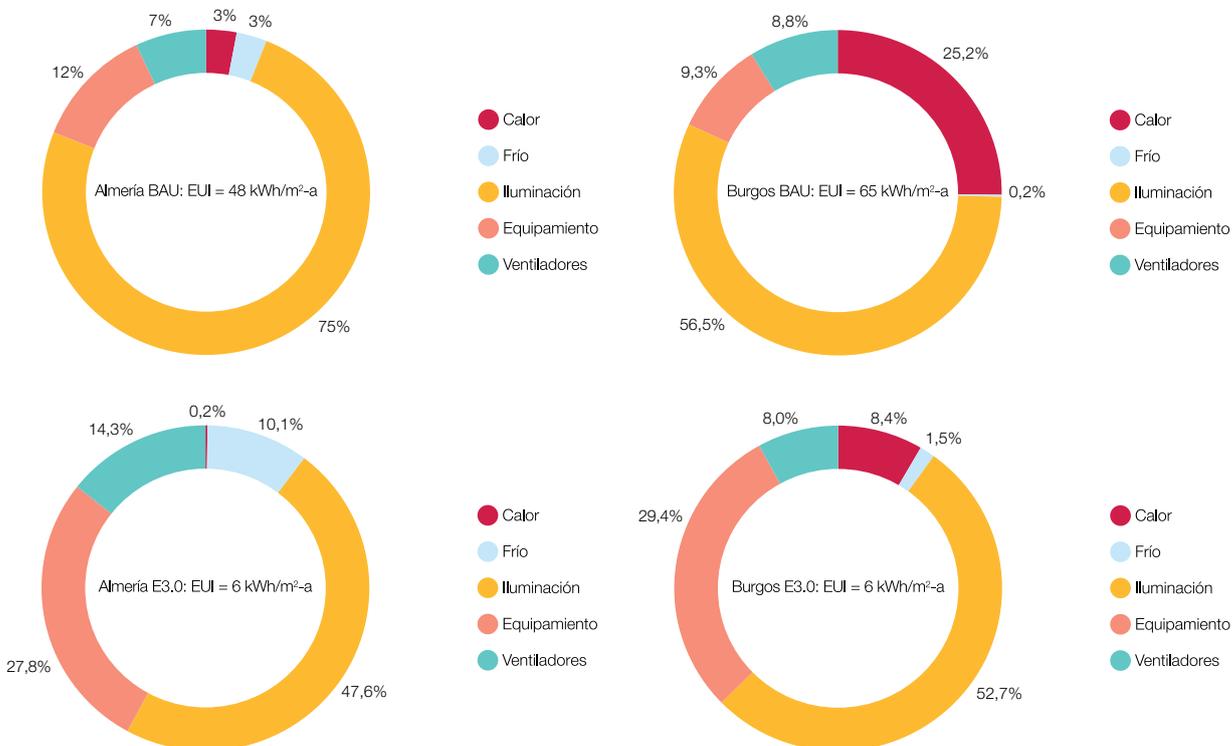
4.6.9 Almacén

Figura 47 Edificio de referencia de almacén. Procede de DOE Benchmark. Área climatizada = 4.835 m².



En la figura 48 se muestra la estructura de la demanda final de energía en dos emplazamientos climáticos extremos, Almería y Burgos, para los contextos BAU y E3.0. En el contexto BAU esta tipología de edificios tiene un gran consumo en iluminación, si bien en las provincias de mayor severidad climática en invierno la climatización tiene una contribución significativa en la demanda. La demanda de energía total en Burgos es de 65 kWh/m² -a, y en Almería de 48 kWh/m² -a. En el contexto de Eficiencia la iluminación sigue dominando (aunque en menor proporción) esta estructura y se sitúa en torno al 50 % para ambos emplazamientos. La demanda de energía total se reduce y es igual, 6 kWh/m² -a. en ambos emplazamientos.

Figura 48 Estructura de la demanda final de energía para almacén en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU y E3.0.



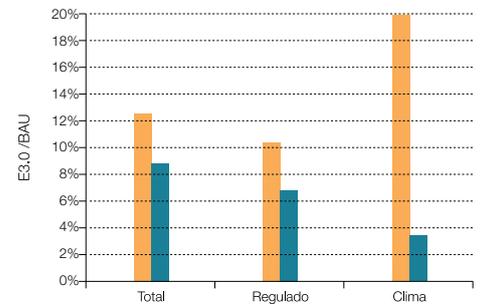
En la figura 49 se puede observar el incremento en ahorro en el consumo de energía al pasar del contexto de Continuidad a un contexto de Eficiencia. En términos de energía total los ahorros alcanzados llegan a ser del orden del 90%. En términos de climatización, en el caso de Burgos, la reducción es casi del 96% debido a la

reducción de la demanda de calefacción del edificio y a la gran eficiencia de las bombas de calor.

En el caso de Almería, la reducción de la demanda de climatización con respecto al BAU es inferior al 80% debido a que las medidas de eficiencia introducidas no consiguen reducir tanto el peso de esta demanda.

Figura 49 Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Almacén.

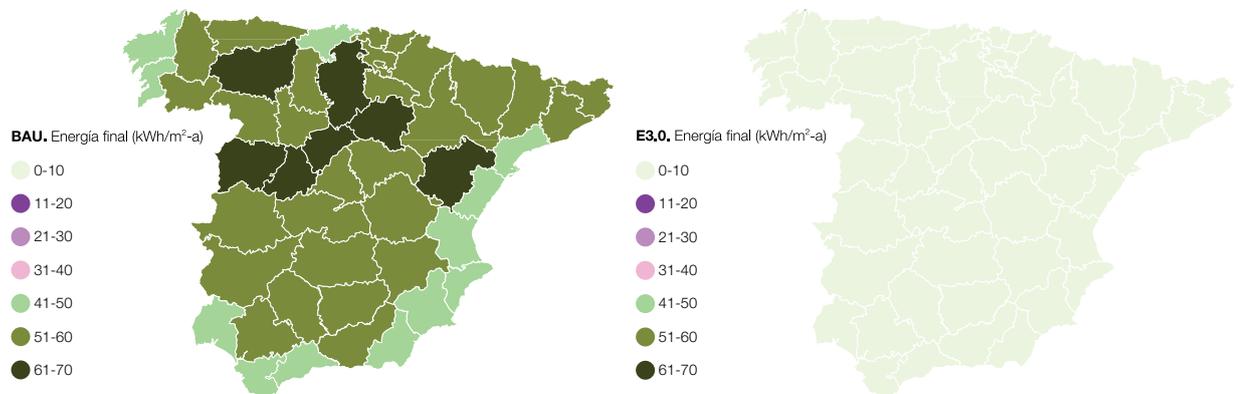
● Almería
● Burgos



En la distribución provincial se observa que en el escenario BAU los emplazamientos con mayor consumo de energía final corresponden a los que tienen mayor severidad climática en invierno. En el escenario E3.0 en

todos los emplazamientos se alcanza un elevado nivel de ahorro y se obtiene una distribución muy homogénea del consumo total de energía debido al considerable ahorro en la demanda de climatización de los edificios.

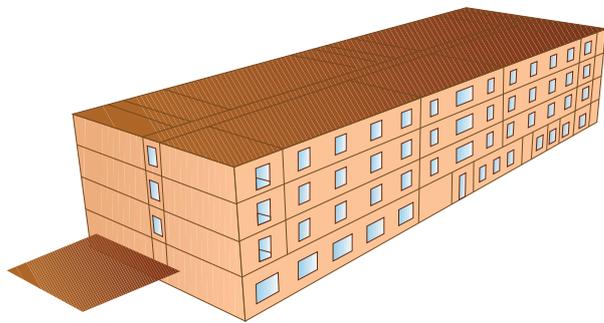
Figura 50 Distribución provincial del consumo total de energía final para almacén, escenarios BAU y E3.0.



El potencial de ahorro que muestra el escenario E3.0 es conservador, y con una buena práctica de ingeniería bioclimática y de sostenibilidad aplicada al desarrollo de cada uno de los nuevos edificios, y una mayor incidencia del urbanismo bioclimático, se podrían alcanzar mayores niveles de eficiencia para el año 2050 que los recogidos en este trabajo.

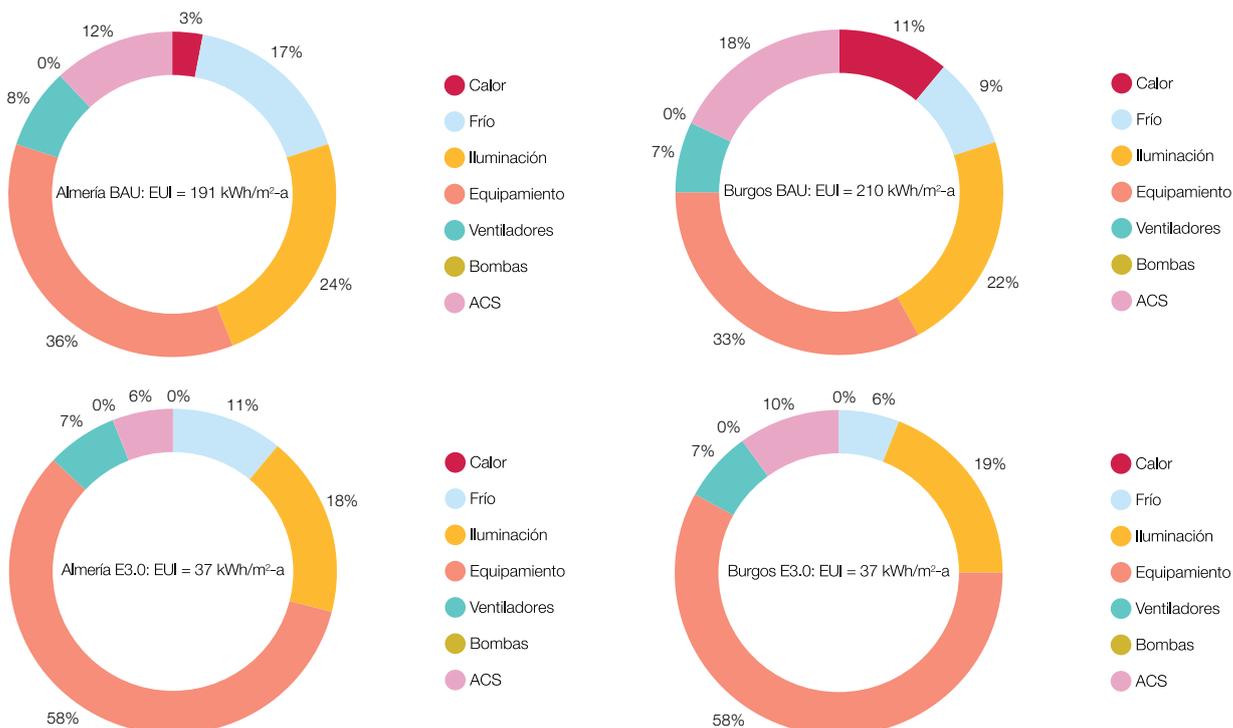
4.6.10 Hotel

Figura 51 Edificio de referencia de hotel. Corresponde al DOE Benchmark. Área climatizada = 4.014 m².



En la figura 52 se muestra la estructura de la demanda final de energía en dos emplazamientos climáticos extremos, Almería y Burgos, para los contextos BAU y E3.0. En el contexto BAU esta tipología de edificios tiene un gran consumo en equipamientos e iluminación, si bien en ambas provincias los requerimientos de climatización tienen una contribución similar en la estructura de la demanda. La demanda de energía total en Burgos es de 210 kWh/m² -a y en Almería de 191 kWh/m² -a. En el contexto de Eficiencia se acentúa mucho más la contribución de los equipamientos al consumo energético que en ambas provincias representa un 58% al disminuir la demanda de climatización y la de iluminación y ACS. La demanda de energía total se reduce y es igual a 37kWh/m² -a en ambos emplazamientos.

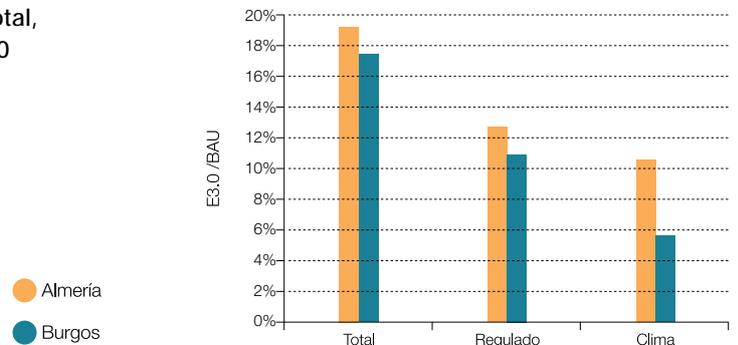
Figura 52 Estructura de la demanda final de energía para hotel en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU y E3.0.



En la figura 53 se puede observar el incremento del ahorro al pasar del contexto de menos eficiencia a un contexto de eficiencia. En términos de energía total los ahorros alcanzados llegan a ser del orden del 82%. Este porcentaje se incrementa al considerar los ahorros en

términos de energía regulada o de climatización, que en el caso de emplazamientos de elevada severidad climática de invierno, alcanza el 94%. La reducción en la demanda de calor del edificio y la gran eficiencia de las bombas de calor contribuyen a este considerable ahorro.

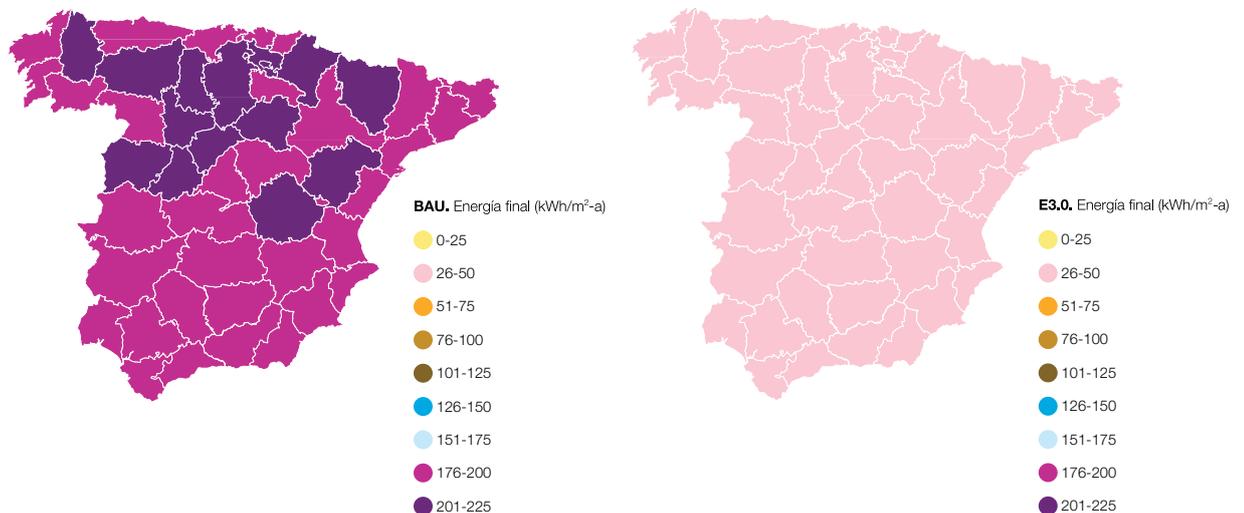
Figura 53 Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Hotel.



En la distribución provincial se observa que en el escenario BAU los emplazamientos con mayor consumo de energía final se sitúan en las provincias de mayor severidad climática de invierno, mientras que en el escenario E3.0 en

todos los emplazamientos se alcanza un elevado nivel de ahorro y se obtiene una distribución muy homogénea del consumo total de energía debido al considerable ahorro en la demanda de climatización de los edificios.

Figura 54 Distribución provincial del consumo total de energía final para hotel, escenarios BAU y E3.0.



4.7

Escenarios de demanda energética totales

En este punto se recogen los escenarios totales E3.0, y se comparan con los BAU, en su forma final²⁶. Los resultados se presentan en términos de energía final²⁷ consumida por los edificios, y se descomponen entre electricidad y combustible. Se presentan los resultados desglosados en subsector edificación residencial, subsector edificación terciario y acumulados de todo el sector edificación.

El escenario BAU desarrollado para el sector edificación en este estudio contiene un importante despliegue de eficiencia, y se puede, por tanto, interpretar como un BAU optimista que conduce a una valoración conservadora del nivel de ahorro que nos puede proporcionar la transición hacia el contexto E3.0.

El nivel de ahorro alcanzado prácticamente en todas las tipologías de edificios analizadas, en términos de consumo de energía total final, ronda el 80 % sin considerar aportaciones locales con renovables. La estructura del consumo energético de los edificios en el contexto E3.0, fuertemente dominada por el consumo de

los equipamientos, junto con la tendencia creciente a la incorporación de equipamientos en los edificios, nos indica que el potencial de mejora adicional quedará muy vinculado a la mejora de eficiencia en los equipamientos, y que de cualquier forma, no podrá alcanzar el 100 % de ahorro.

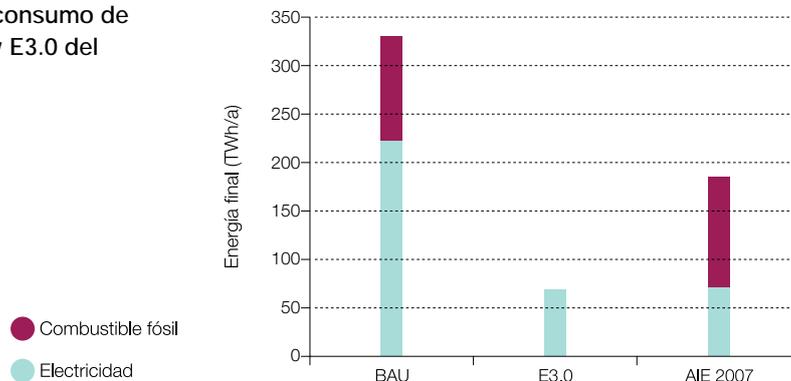
El potencial de ahorro que muestra el escenario E3.0 aquí desarrollado es conservador, y con una buena práctica de la ingeniería bioclimática y de sostenibilidad aplicada al desarrollo de cada uno de los nuevos edificios, y una mayor incidencia del urbanismo bioclimático, se podrían alcanzar mayores niveles de eficiencia en el contexto E3.0 para el año 2050 que los recogidos en este trabajo.

4.7.1 Edificación residencial

En la figura 55 se muestran los resultados finales acumulados para edificación residencial, al comparar los contextos BAU, E3.0 y el balance energético de la AIE para 2007.

Se puede observar que el ahorro alcanzado gracias a la eficiencia es tal, que el consumo de energía final en el contexto de Eficiencia es un 21% del consumo de energía final en el contexto BAU, pero además, el consumo de electricidad en el contexto E3.0 es tan solo un 31% del consumo de electricidad en el contexto BAU. Esto indica que en el contexto de Eficiencia la

Figura 55 Resultados acumulados de consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0 del subsector edificación residencial.



integración del subsector residencial en el sistema energético, mediante la electrificación total, no supone una sobrecarga para el sistema eléctrico. De hecho, tal

y como se puede observar al comparar la demanda del contexto de Eficiencia con la del año 2007, la demanda de electricidad es incluso inferior en el contexto E3.0.

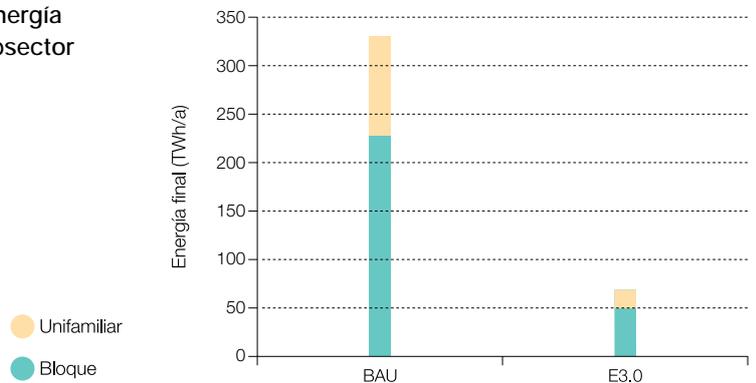
²⁶ En este caso los escenarios descuentan las aportaciones de la solar térmica autónoma para cobertura parcial de la demanda de ACS.

²⁷ La comparación en términos de energía final es independiente de la estructura del sistema de generación, que es otra variable que diferenciará los contextos BAU y E3.0.

Por tanto, hay todavía espacio para la integración de otros sectores, como el de transporte, sin introducir grandes requerimientos de ampliación de la capacidad de

generación y transporte del sistema eléctrico; al mismo tiempo que se elimina el consumo de combustibles fósiles que encontramos tanto en la actualidad como en el BAU.

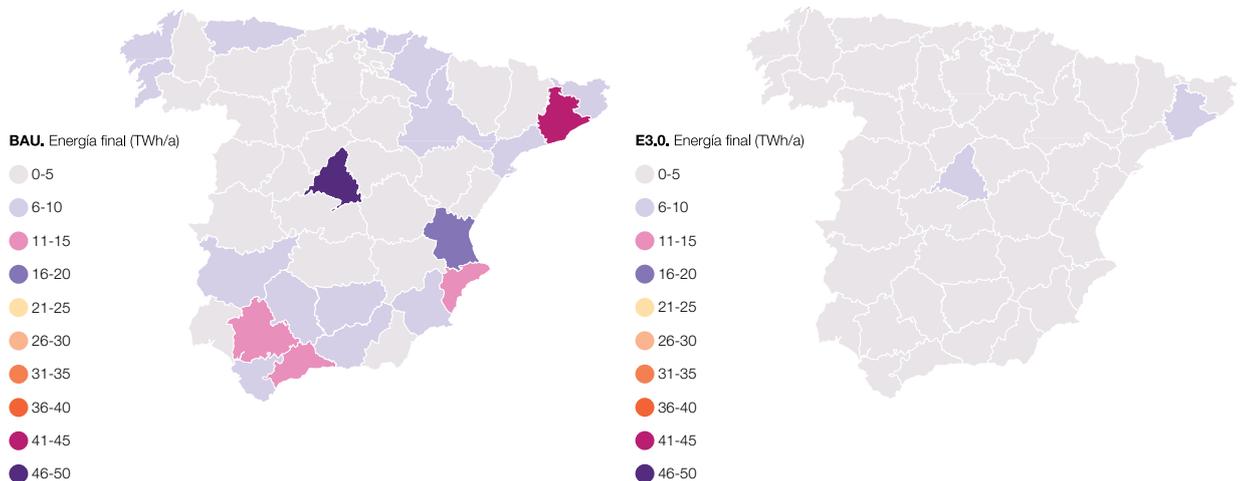
Figura 56 Reparto modal de consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0 del subsector edificación residencial.



La figura 56 presenta el correspondiente reparto modal entre bloque y unifamiliar en los diferentes escenarios. Se puede apreciar cómo desciende considerablemente la demanda en ambas tipologías, cuando se pasa de un escenario BAU a un escenario E3.0 y se obtiene para el contexto de Eficiencia demandas totales de energía final, que en valor promedio de todas las provincias, para las distintas tipologías de edificio son del 17,9% (residencial unifamiliar) y 21,9% (residencial bloque) de la demanda correspondiente al contexto BAU.

El mapa de la figura 57 muestra la distribución provincial del consumo de energía final en los dos escenarios. La distribución provincial nos indica cuáles son las provincias con mayor demanda en un contexto BAU, que son las que aglutinan mayor uso residencial. En el contexto de Eficiencia el orden de demanda de las provincias se mantiene, pero la demanda disminuye considerablemente.

Figura 57 Distribución provincial del consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0 del subsector edificación residencial.



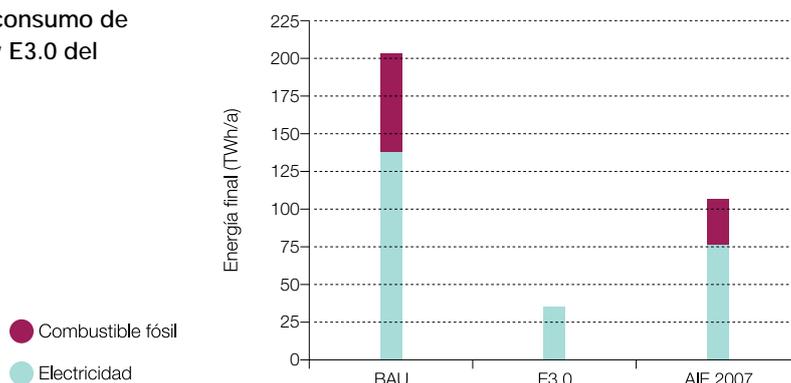
Resultados finales en el sector edificación: el ahorro alcanzado gracias a la eficiencia es tal que el consumo de energía final en el contexto E3.0 es un 20% del consumo de energía final en el contexto BAU.

4.7.2 Edificación del sector terciario

En la figura 58 se muestran los resultados finales acumulados para edificación del sector terciario, al comparar los contextos BAU, E3.0, y los datos del año 2007 de la AIE. Se puede observar cómo el ahorro alcanzado gracias a la eficiencia es tal, que el consumo de energía final en el contexto E3.0 es un 17% del consumo de energía final en el contexto BAU. El consumo de electricidad en el contexto E3.0 es tan solo un 26% del consumo de electricidad en el contexto BAU, por lo que

la integración en el contexto E3.0 del subsector terciario en el sistema energético mediante la electrificación total conduce a una menor demanda eléctrica que el caso BAU. La demanda de electricidad en el contexto E3.0 es muy inferior a la existente en el año 2007, de tal forma que además de eliminar el consumo de combustible fósil, la integración y electrificación de este subsector deja hueco, incluso en el sistema eléctrico actual, para cubrir la demanda de otros sectores (como el transporte) sin introducir requerimientos adicionales de potencia de generación y capacidad de transporte eléctrico.

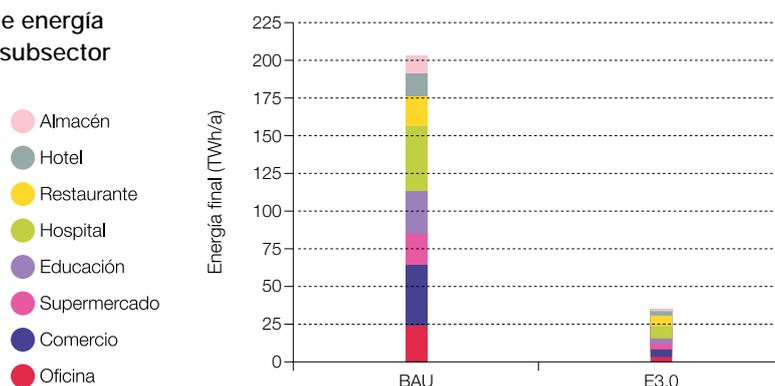
Figura 58 Resultados acumulados de consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0 del subsector edificación terciaria.



La figura 59 presenta el reparto modal en el subsector terciario en los dos escenarios. La reducción de demanda de los edificios al pasar del contexto BAU al E3.0 es muy importante, y obtiene para el contexto de Eficiencia demandas totales de energía final, que en valor promedio

de todas las provincias, para las distintas tipologías de edificio son del 13,7 % (oficina), 12,4 % (comercio), 11,4 % (educación), 10,5 % (almacén), 16,9 % (supermercado), 18,5 % (hotel), 21,5 % (hospital) y 32,0 % (restaurante) de la demanda correspondiente al contexto BAU.

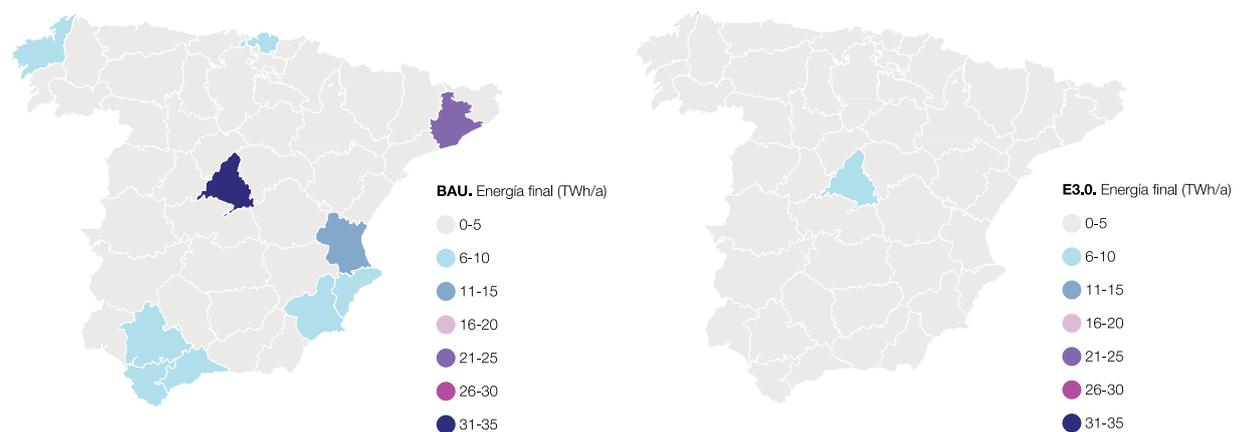
Figura 59 Reparto modal del consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0 del subsector edificación terciario.



Finalmente el mapa de la figura 60 muestra la distribución provincial del consumo de energía final en los dos escenarios del subsector edificación terciario. La distribución provincial indica cuáles son las provincias

con mayor demanda en un contexto BAU que son las que aglutinan mayor uso. En el contexto de Eficiencia el orden de demanda de las provincias se mantiene pero la demanda disminuye considerablemente.

Figura 60 Distribución provincial del consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0 del subsector edificación terciario.

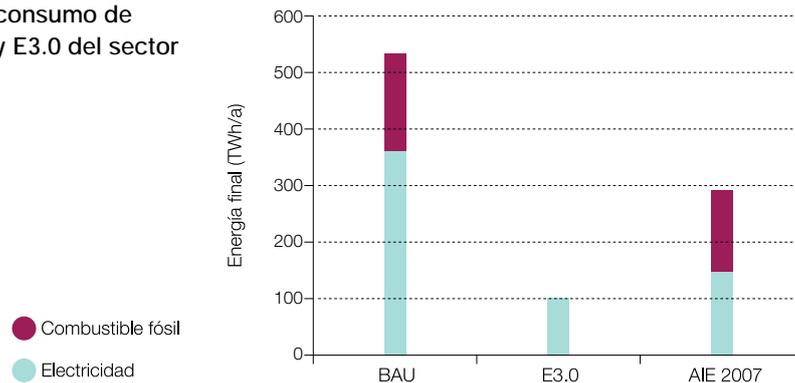


4.7.3 Resultados totales

En la figura 61 se muestran los resultados finales acumulados para el conjunto del sector edificación, comparando los contextos BAU, E3.0, y la situación en el año 2007. Se puede observar que el ahorro alcanzado gracias a la eficiencia es tal que el consumo de energía final en el contexto E3.0 es un 20% del consumo de energía final en el contexto BAU. Además, el consumo de electricidad en el contexto de Eficiencia es tan solo un 29% del consumo de electricidad en el contexto BAU, por lo que la electrificación total en el contexto E3.0, lejos de suponer una sobrecarga para

el sistema eléctrico, conduce a una menor demanda eléctrica que el caso BAU. La demanda de electricidad en el contexto de Eficiencia es un 70% de la existente en el año 2007 de tal forma que, además de eliminar el consumo de combustible fósil, la integración y electrificación de este sector deja hueco incluso en el sistema eléctrico actual para cubrir parcialmente la demanda de otros sectores (como el transporte) sin introducir requerimientos adicionales de potencia de generación y capacidad de transporte. La reducción de demanda eléctrica en el contexto E3.0 es de 258 TWh/a respecto al contexto BAU, y de 44 TWh/a respecto al año 2007.

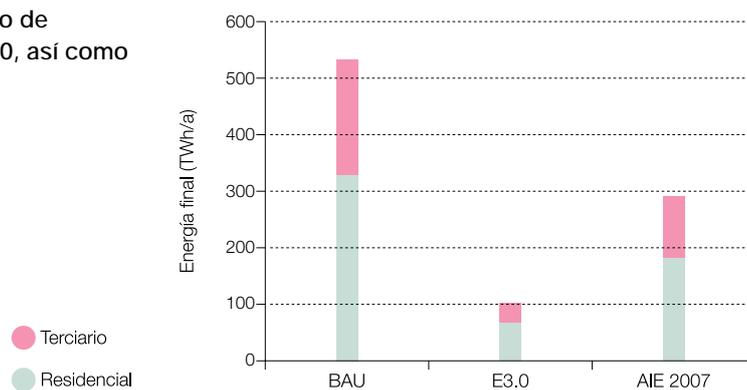
Figura 61 Resultados acumulados de consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0 del sector edificación.



En la figura 62 se recoge el reparto del consumo de energía final entre los subsectores residencial y terciario, para los contextos BAU y E3.0 para 2050, así como para el año 2007. Se puede observar cómo se reduce la demanda de energía en el escenario E3.0, con relación al escenario BAU, y es incluso inferior a los datos de

la AIE en 2007. Así para el escenario BAU la demanda de residencial asciende a 331,88 TWh/a y de terciario a 202,86 TWh/a. En el escenario E3.0 la demanda de residencial se sitúa en valores de 69,03 TWh/a por debajo de los de 2007 con 184,4 TWh/a y en terciario en valores de 35,21 TWh/a -por debajo de 106,7 TWh/a de 2007.

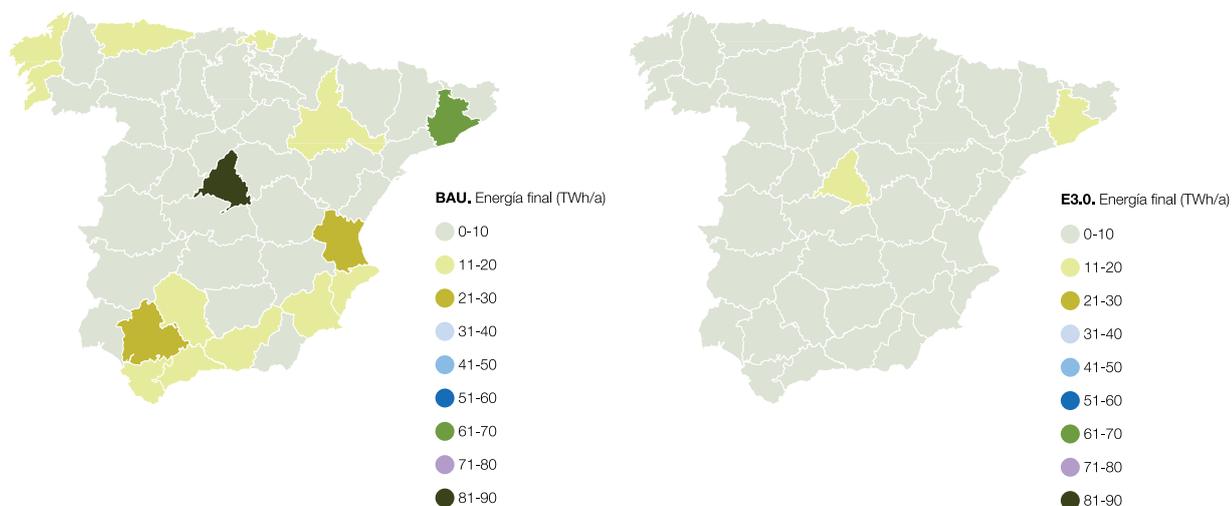
Figura 62 Reparto subsectorial de consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0, así como para 2007.



Finalmente el mapa muestra la distribución provincial del consumo de energía final en los dos escenarios del sector edificación. La distribución provincial indica cuáles son las provincias con mayor demanda en un contexto BAU,

que son las que aglutinan mayor uso. En el contexto de Eficiencia el orden de demanda de las provincias se mantiene pero la demanda disminuye considerablemente.

Figura 63 Distribución provincial del consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0 del sector edificación.



4.8

Escenarios de transición

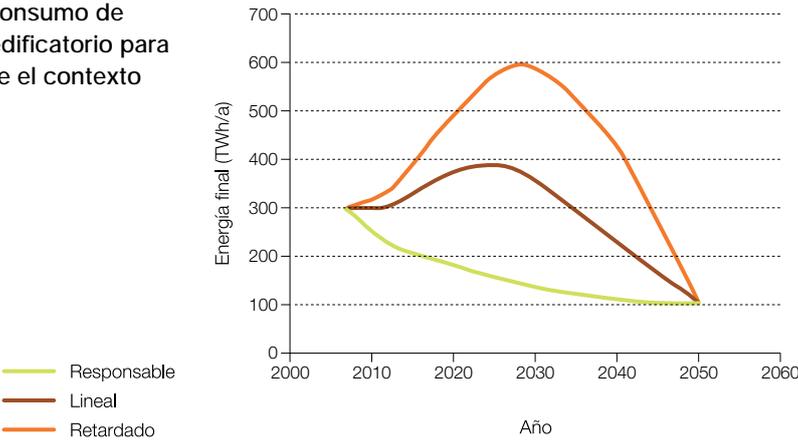
La transición desde la situación actual al contexto E3.0 se puede desarrollar a lo largo del tiempo siguiendo distintas trayectorias, según el impulso que reciban la incorporación de las medidas de eficiencia e inteligencia en el sistema energético. Para ello se eligen tres hipótesis: responsable, lineal y retardada.

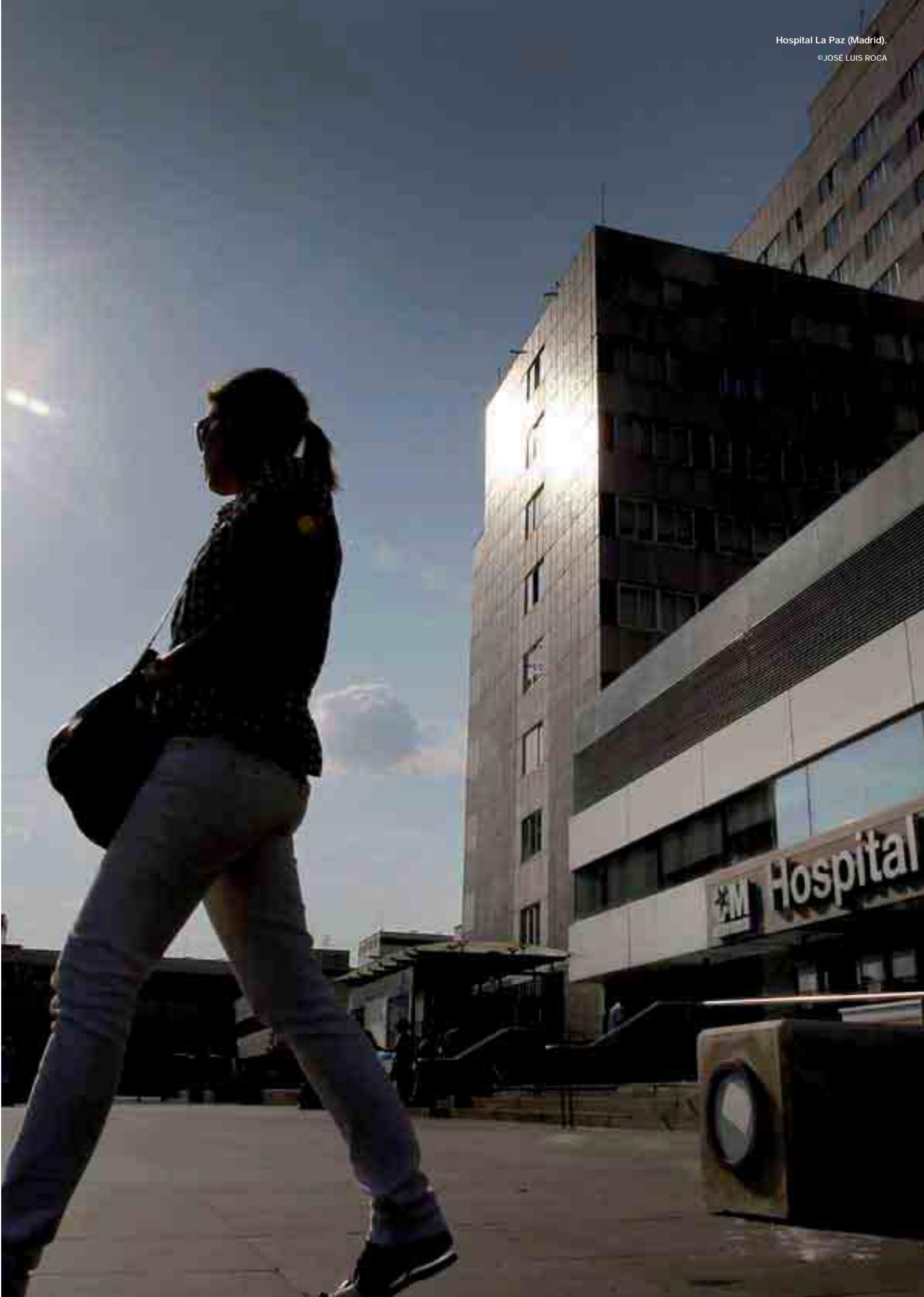
Según los resultados al introducir las distintas hipótesis de transición se obtienen los tres escenarios de evolución de la demanda de energía final en el sector edificación, desde el contexto BAU al contexto E3.0. Como se puede

observar en la figura 64, en el escenario de transición lineal, se obtiene un pico de consumo en 2025 del orden del 132 % de la demanda de energía final del sector edificación en el año 2007. En el escenario de transición retardado conduce a un pico de la demanda de energía final en torno al año 2030, del orden del 200 % de la demanda en el año 2007. 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. Esto permite ir liberando al sistema energético y en particular al sistema eléctrico, para integrar otros sectores como el de transporte sin requerir un gran sobredimensionado del sistema eléctrico con sus costes e impacto ambiental asociados.

La transición desde la situación actual al contexto E3.0 se puede desarrollar a lo largo del tiempo siguiendo distintas trayectorias. En este estudio se elijen tres hipótesis de transición: responsable, lineal y retardada.

Figura 64 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.







Una persona introduce carburante en su vehículo convencional en una estación de servicio (Madrid).

©PEDRO ARMESTRE

Escenario de demanda del sector transporte

En este capítulo se desarrolla el escenario de demanda energética del sector transporte. Para ello, en primer lugar se elaboran los escenarios de movilidad (cuánto necesitamos movernos), a continuación el reparto por modos de transporte, seguido del consumo específico de cada uno de esos modos, y con todo ello se construyen los escenarios de demanda energética total del sector, tanto en el contexto BAU como en el E3.0.

En el sector transporte, la integración en el sistema energético constituye un elemento fundamental tanto para acelerar la introducción de cobertura renovable de su demanda, como para favorecer las sinergias de este sector con el conjunto del sistema energético. La electrificación es la clave de este proceso de integración, así como del despliegue de eficiencia en este sector.

5.1

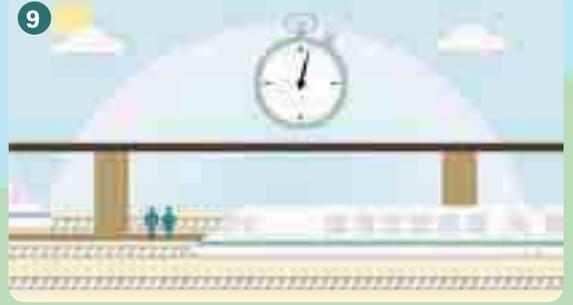
Movilidad

Lo primero que se necesita saber para conocer cuánta energía necesitaremos para movernos, es saber cuánto necesitaremos movernos. Por tanto, el primer paso para elaborar los escenarios de demanda de energía del sector transporte es partir de escenarios de movilidad.

Para elaborar los escenarios BAU se parte de la información histórica sobre demanda de movilidad, se consideran los escenarios de demanda de movilidad disponibles en la bibliografía y se tiene en cuenta la correlación de la demanda de movilidad con el PIB. Además, como criterio de reparto de responsabilidades entre el país de origen y destino de esta demanda de movilidad, se ha considerado asignar a España el 50% de la demanda de movilidad internacional. Con todo ello, se tienen los siguientes escenarios de demanda de movilidad BAU, para viajeros y mercancías:

Sistema de transporte inteligente, eficiente y 100% renovable

Un sistema de transporte inteligente logra satisfacer los servicios de movilidad con una gran reducción del consumo de energía, gracias a la eficiencia de los vehículos y al alto grado de ocupación que se consigue. La mayor parte del transporte es eléctrico y los vehículos intercambian energía con la red; de esta manera los consumidores participan en la operación y gestión del sistema eléctrico, ofreciendo servicios de gestión de la demanda y facilitando la integración de la electricidad 100% renovable.



Las líneas de ferrocarril compiten en tiempo y servicio con la aviación.



Las necesidades de movilidad se reducen gracias al teletrabajo y a una planificación urbana eficiente que facilita la accesibilidad y los desplazamientos a pie y en bicicleta.



El transporte colectivo es mayoritario y dispone de vehículos eléctricos de distintos tamaños. El usuario contrata servicios de movilidad compartida, de forma más eficiente en tiempo, energía y coste que el uso particular de estos vehículos.



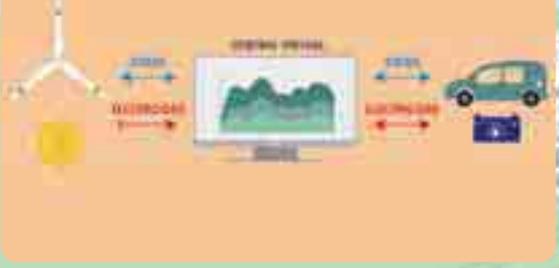
Los vehículos colectivos eléctricos facilitan un mejor aprovechamiento de la infraestructura de transporte. Acercan en origen y destino a otros transportes colectivos como cercanías, trenes, autobuses o metro.

3 Intermodalidad

9 Ferrocarril

2 Movilidad compartida

8



Los vehículos eléctricos intercambian energía con la red y la acumulan en sus propias baterías. Son la principal herramienta de gestión de la demanda eléctrica.

7



El uso del avión se reduce a trayectos de larga distancia y operan con bioqueroseno o con hidrógeno de origen 100% renovable.

7 Transporte aéreo

5 Mercancías

4 Vehículos eléctricos

8 Gestión de la demanda

6 Transporte marítimo

1 Necesidades de movilidad

6



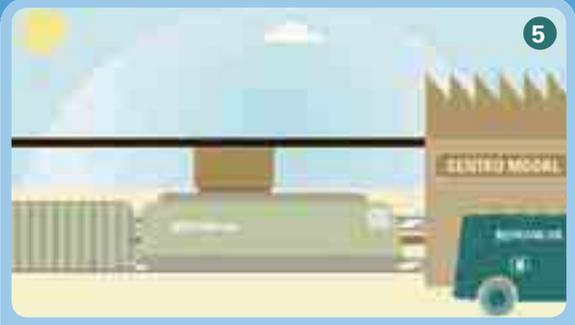
Los barcos se moverán con biocombustibles o hidrógeno de origen 100% renovable, con motores más eficientes y algún apoyo como las velas de altura de guiado automático para reducir consumo.

4



El transporte por carretera está totalmente electrificado. Se puede recargar en puntos situados en los garajes de los edificios, en aparcamientos o en la calle, así como en electrolineras en las que proceder a un cambio completo de batería.

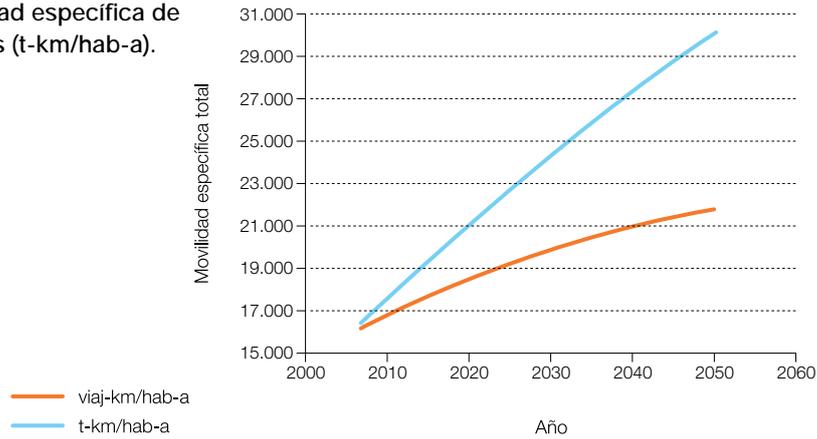
5



Las mercancías se transportan hasta los centros modales en vehículos eléctricos medianos donde se cambian a los trenes y, en menor medida, a grandes camiones eléctricos o alimentados con biocombustible o con hidrógeno. Ya en las poblaciones se distribuye en furgonetas eléctricas.

Para conocer cuánta energía precisaremos para movernos hemos de saber cuánto necesitaremos movernos, cuánto se utilizará cada modo de transporte, y cuánta energía requerirá cada uno de ellos.

Figura 65 Escenarios BAU de movilidad específica de viajeros (viaj-km/hab-a) y mercancías (t-km/hab-a).



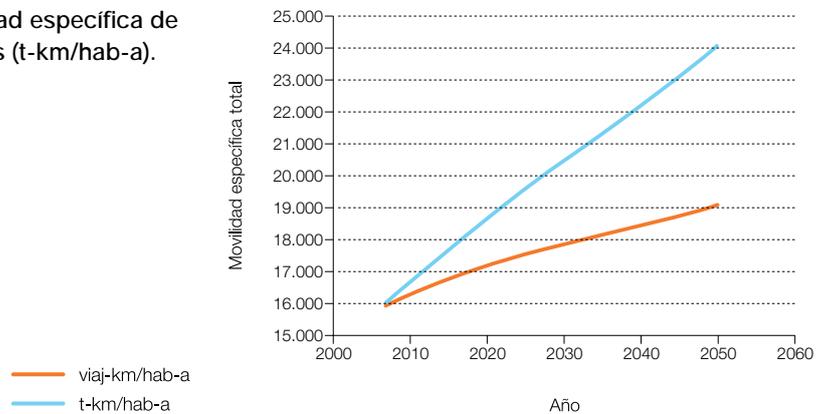
Para elaborar los escenarios E3.0 de demanda de movilidad, se consideran varios factores de eficiencia que permiten lograr una menor demanda de movilidad:

- Desmaterialización de la economía: videoconferencias, teletrabajo, educación a distancia, comercio electrónico.
- Planificación de la accesibilidad, activación del mundo rural: reducción de las necesidades de movilidad

de personas, logística inteligente del transporte de mercancías, incremento de desplazamientos a pie y en bicicleta.

Agrupando todos estos conceptos, se plantea una reducción de demanda de movilidad en el escenario E3.0 respecto a la del escenario BAU del 12 % para viajeros y del 20 % para mercancías, resultando los siguientes escenarios de movilidad específica de viajeros y mercancías:

Figura 66 Escenarios E3.0 de movilidad específica de viajeros (viaj-km/hab-a) y mercancías (t-km/hab-a).



Al cruzar estos escenarios de demanda de movilidad específica de viajeros y mercancías con los escenarios de población peninsular adoptados para este estudio,

se obtienen los escenarios de demanda de movilidad absoluta peninsular:

Figura 67 Escenarios BAU y E3.0 de movilidad absoluta total peninsular de viajeros.

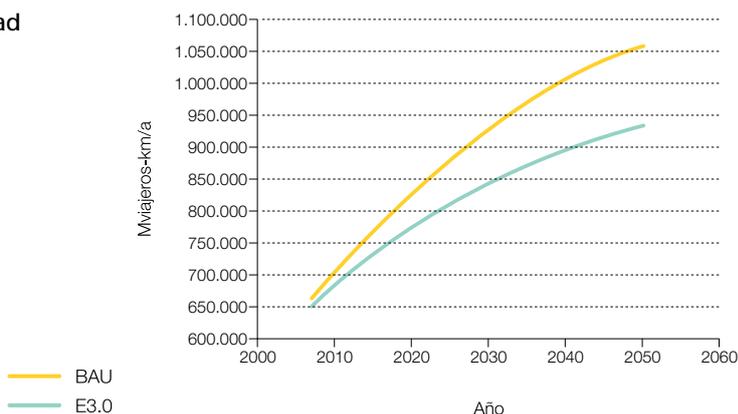
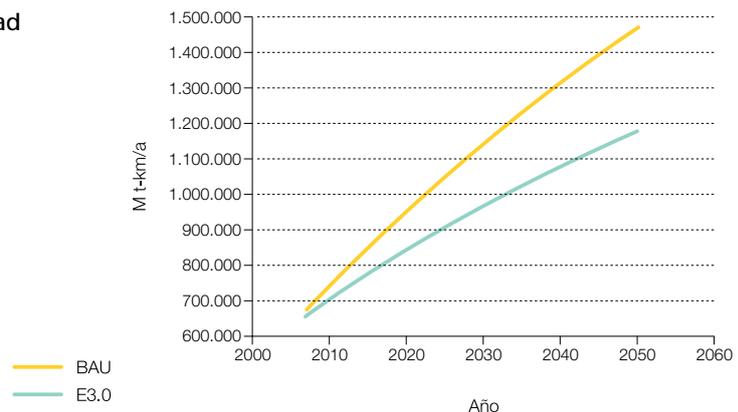


Figura 68 Escenarios BAU y E3.0 de movilidad absoluta total peninsular de mercancías.



5.2

Reparto modal

Una vez que sabemos cuánto necesitaremos movernos, hace falta saber de qué forma nos moveremos, previo a conocer cuánta energía necesitaremos para ello. Por tanto, el siguiente paso es establecer escenarios de reparto modal de los escenarios de demanda de movilidad total desarrollados en el punto anterior.

Si partimos de la evolución histórica del reparto modal, se desarrolla un escenario del peso de la movilidad urbana sobre la movilidad total²⁸, y sobre esa base se desglosa la movilidad urbana e interurbana, tanto de viajeros como de mercancías, para los escenarios BAU y E3.0.

5.2.1 Escenarios de reparto modal de la movilidad urbana de viajeros

Se distingue entre los modos motorizados por ferrocarril y carretera, y entre uso particular y colectivo, independientemente de que la propiedad sea pública o privada. **Los modos de transporte no motorizados no aparecen reflejados directamente, y actúan como una reducción de la demanda de movilidad motorizada**, debido a que el objetivo de este estudio es el análisis de implicaciones energéticas del transporte.

La diferencia fundamental entre los enfoques BAU y E3.0 es la gran reducción en el escenario E3.0 del modo particular carretera, a favor del colectivo carretera y del colectivo metro. En este escenario los modos colectivos

²⁸ Respecto al peso de la demanda de movilidad urbana frente a la demanda de movilidad total, se plantean escenarios tendenciales con una contribución creciente de la movilidad urbana, pero con una tendencia a la saturación hacia el final del periodo considerado.



Una persona intenta tomar un taxi durante una concentración de trabajadores de este servicio en las principales calles de Madrid.

emplean una mayor diversidad de vehículos: coche eléctrico, bus eléctrico de distintos tamaños y metro. De esta forma, el transporte colectivo aumenta su flexibilidad por el lado de la oferta para adaptarse mejor a la estructura de la demanda de movilidad, al proporcionar ese servicio a los usuarios finales en unas condiciones mucho más favorables que las asociadas al uso particular de esos vehículos.

El elemento conceptual fundamental que permite apoyar este planteamiento es el de la implementación de un sistema de transporte inteligente (STI). Gran parte de ese nuevo transporte colectivo son coches de distintos

tamaños operados por el STI y sobre los que el usuario contrata servicios de movilidad compartidos con otros usuarios.

En cuanto al metro, en un contexto E3.0, allí donde la red de metro ya se ha desarrollado, el STI debería tender a optimizar esa infraestructura existente y hacerla evolucionar hacia mayores niveles de eficiencia mediante la interacción sinérgica con el modo de transporte colectivo por carretera.

Con ello, el reparto modal del transporte urbano motorizado de viajeros quedaría de la siguiente forma en los escenarios BAU y E3.0:

Figura 69 Escenarios BAU de reparto modal del transporte urbano motorizado de viajeros.

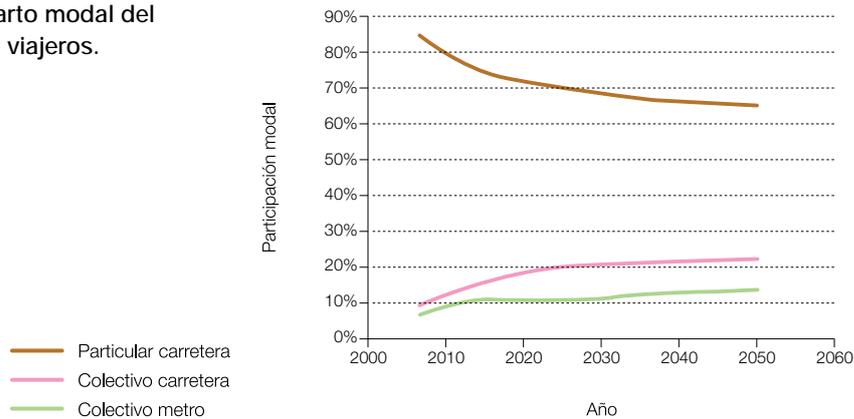
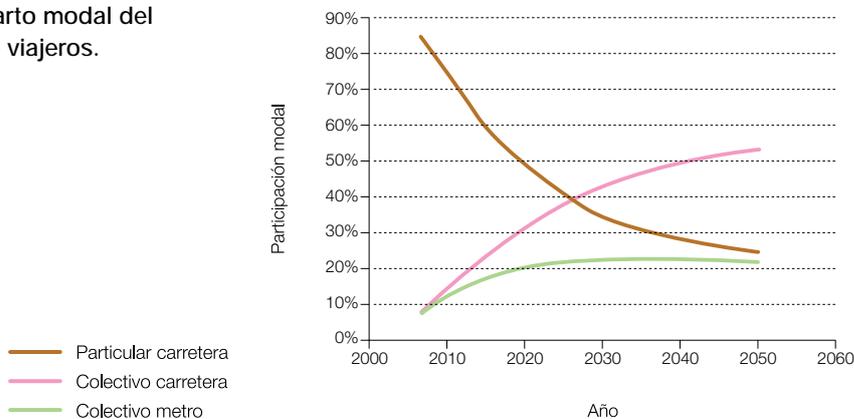


Figura 70 Escenarios E3.0 de reparto modal del transporte urbano motorizado de viajeros.



Y en cuanto a la movilidad absoluta:

Figura 71 Escenarios BAU de movilidad absoluta urbana de viajeros para los distintos modos motorizados.

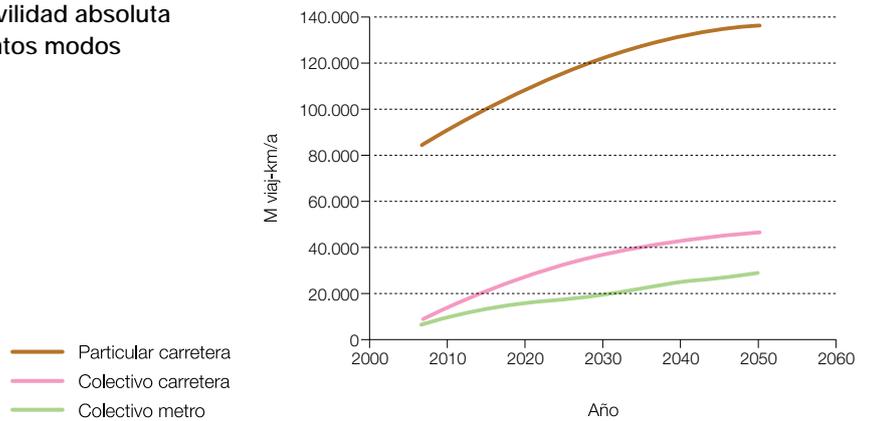
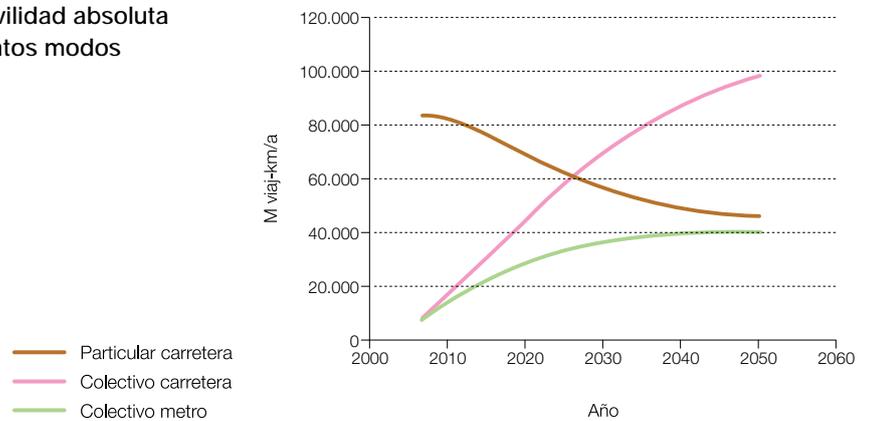


Figura 72 Escenarios E3.0 de movilidad absoluta urbana de viajeros para los distintos modos motorizados.

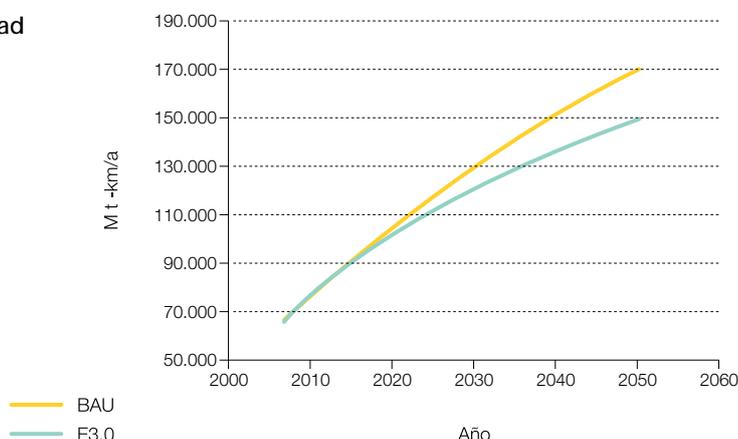


El escenario Energía 3.0 se basa en un sistema de transporte inteligente (STI), cuyo eje central es un nuevo modelo de transporte colectivo con vehículos de distintos tamaños operados por el STI y sobre los que el usuario contrata servicios de movilidad compartidos con otros usuarios.

5.2.2 Escenarios de reparto modal de la movilidad urbana de mercancías

Para la movilidad urbana de mercancías solo se considera un modo, la carretera, que evolucionaría de acuerdo con los siguientes escenarios:

Figura 73 Escenarios BAU y E3.0 de movilidad absoluta urbana de mercancías.



5.2.3 Escenarios de reparto modal de la movilidad no urbana de viajeros

Para elaborar los escenarios de cada modo de transporte, se tienen en cuenta diversas consideraciones:

- Respecto a la movilidad de viajeros por barco, debido a los mayores tiempos de desplazamiento es difícil plantearse que este modo llegue a alcanzar pesos relativos importantes.
- Respecto a la movilidad por ferrocarril, en el contexto E3.0 se plantea una mayor participación porcentual de este modo de transporte, apoyada por el STI y por la reducción de la movilidad total que afecta principalmente a otros modos de transporte.
- Respecto a la movilidad por avión, en el contexto E3.0 se plantea una máxima migración del modo aéreo a otros modos de transporte con mayores opciones de incorporar energías renovables. Así, se consigue que el modo aéreo alcance un máximo en torno al año 2020, por un lado mediante la reducción de demanda de movilidad por desmaterialización, especialmente centrada en este modo de transporte, y por otro lado al impulsar el modo ferrocarril apoyado por el modo carretera en un contexto de STI. Para conseguir una sustitución significativa del modo aéreo por el modo ferrocarril, parece imprescindible potenciar las líneas de ferrocarril capaces de competir en tiempo y servicio con la aviación, apoyadas por un sistema de transporte por carretera que optimice la conexión intermodal con dicha red de ferrocarriles.
- En cuanto a la movilidad por carretera, en el contexto E3.0, el mayor uso que hace el STI del transporte por carretera para favorecer la intermodalidad, así como la reducción de demanda de movilidad en otros modos, hace que se vayan atenuando las tasas de decrecimiento para alcanzar un mínimo en torno a 2030 y luego tender a estabilizarse. En términos de movilidad absoluta, para los años finales, a pesar de que la demanda de movilidad total en E3.0 es sensiblemente inferior a la de BAU, el modo carretera tiene una demanda de movilidad absoluta superior en el contexto E3.0. Ahora bien, el modo carretera en E3.0 es un modo totalmente electrificado y apoyado por un STI que proporciona elevados factores de capacidad, de tal forma que los consumos específicos que proporciona son de los más favorables entre todos los modos de transporte disponibles. Así, el modo

carretera (también eléctrico como el ferrocarril, y con un consumo específico comparable), puede entenderse como una ramificación del modo ferrocarril para llegar hasta la puerta del origen y destino de las demandas de movilidad. En cuanto a la distinción entre coches y autocares, en el E3.0 el STI acomoda los tamaños de los vehículos a la demanda de movilidad para alcanzar, en todos los casos, elevados factores de capacidad, y emplea además vehículos principalmente eléctricos, de tal forma que las diferencias en consumo específico son menores. Y en cuanto a la distinción entre los dos submodos particular y colectivo, se considera una fuerte transición del modo particular hacia el colectivo

en el marco de un STI, donde el término colectivo abarca no solo el transporte público, sino todas esas situaciones en que la operación del vehículo está gobernada por el STI.

- En cuanto a las infraestructuras, una de las funciones del despliegue del STI es la optimización de aquellas infraestructuras de transporte que ya están implementadas.

Con todo ello, resultan los siguientes escenarios de participación modal en la movilidad interurbana, para los contextos BAU y E3.0, tanto en términos relativos como absolutos para la península:

Figura 74 Peso modal de la movilidad interurbana de viajeros en escenario BAU.

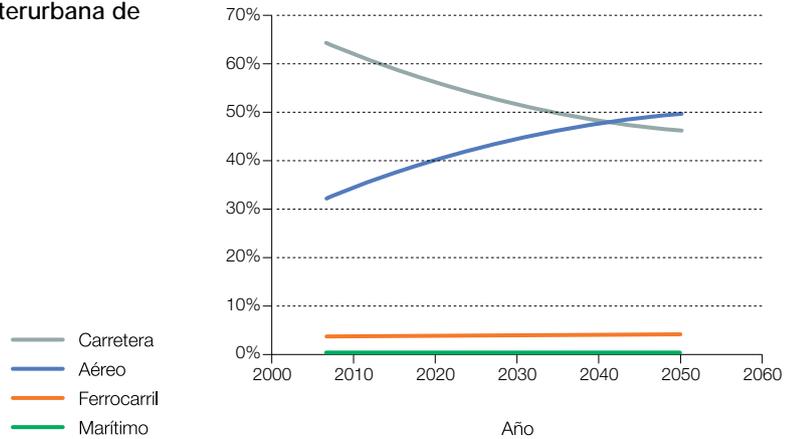
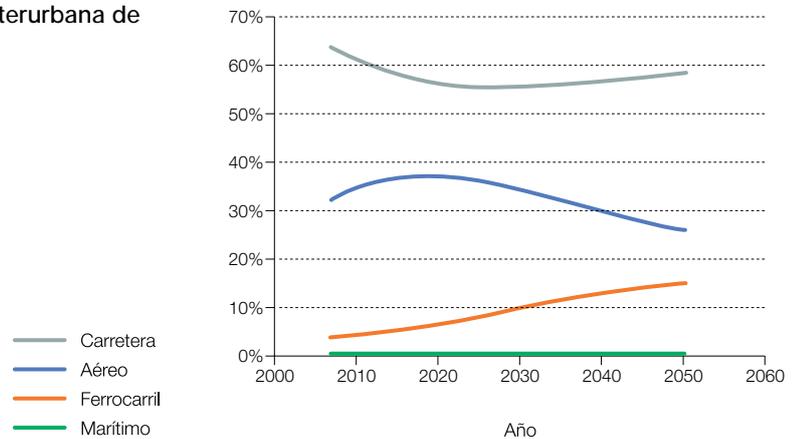


Figura 75 Peso modal de la movilidad interurbana de viajeros en escenario E3.0.



Respecto a la movilidad por avión, en el contexto E3.0 se plantea una máxima migración del modo aéreo a otros modos de transporte con mayores opciones de incorporar energías renovables.

Figura 76 Participación modal en la movilidad interurbana absoluta peninsular de viajeros en el escenario BAU.

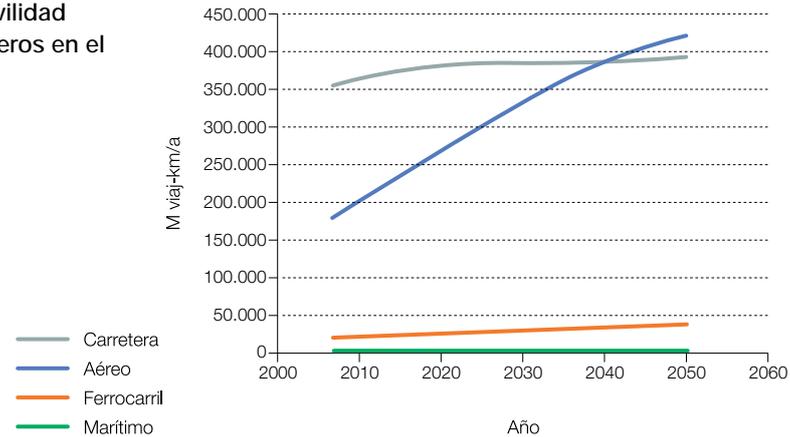
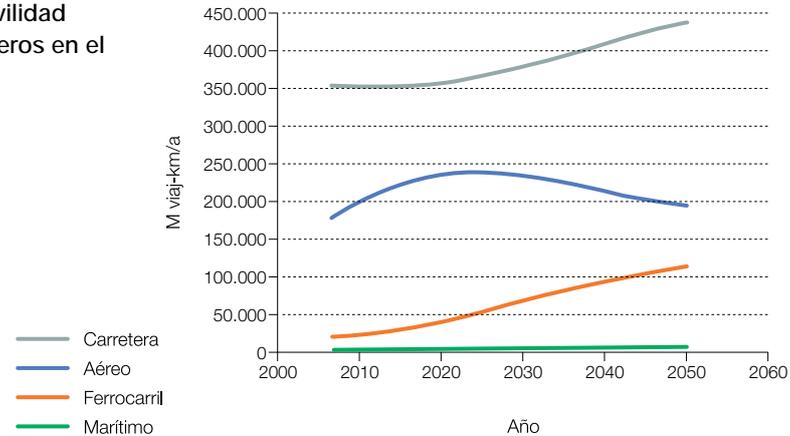


Figura 77 Participación modal en la movilidad interurbana absoluta peninsular de viajeros en el escenario E3.0.



5.2.4 Escenarios de reparto modal de la movilidad no urbana de mercancías

La primera diferenciación importante entre los contextos BAU y E3.0 se encuentra en el caso del transporte de mercancías por ferrocarril. En el contexto E3.0 se plantea un fuerte incremento de la movilidad por ferrocarril como sustituto del transporte por carretera, facilitado por el enfoque intermodal coordinado del STI y el sistema logístico inteligente, para sacar el máximo provecho de la red ferroviaria actual y de la mayor eficiencia del modo ferrocarril respecto al modo carretera alimentado

por combustibles. Esta transición viene impulsada por la necesidad de absorber una parte importante de la movilidad por carretera, que en principio puede resultar más problemática de electrificar por completo, aunque la opción de camiones eléctricos con reposición de baterías en destino final y con una red de electrolineras distribuidas por las rutas principales también puede resultar adecuada.

El transporte de mercancías por carretera, en el contexto E3.0, alcanza su máxima participación modal en torno a la actualidad, para posteriormente evolucionar con

tasas decrecientes, a un mayor ritmo al principio por forzar el cambio modal hacia el ferrocarril, para reducirse posteriormente el ritmo de decrecimiento a medida que empiecen a introducirse los camiones eléctricos para transporte de mercancías.

Con todo ello, resultan los siguientes escenarios de evolución de la movilidad en los distintos modos de

transporte no urbano de mercancías, para los contextos BAU y E3.0, tanto en términos relativos como absolutos para la península. Como muestran las figuras 78, 79, 80, 81 y 82, en el contexto BAU los modos carretera y marítimo presentan una movilidad tan elevada respecto a los otros que se requiere una ampliación de la escala del gráfico para distinguir los otros modos.

Figura 78 Escenario evolución modal del transporte de mercancías no urbano en el contexto BAU.

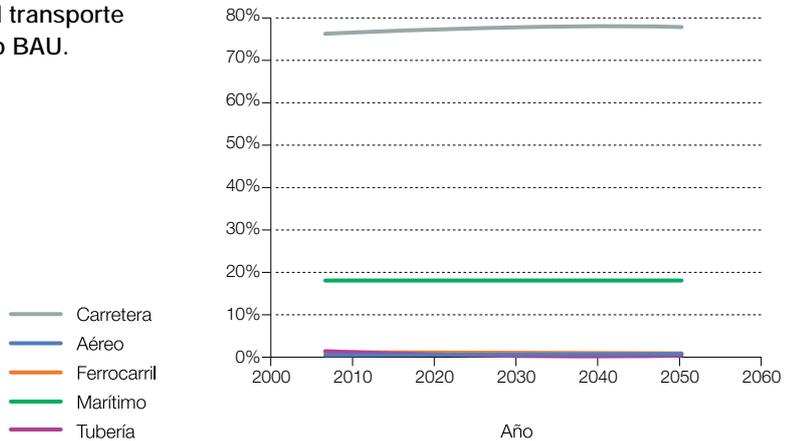
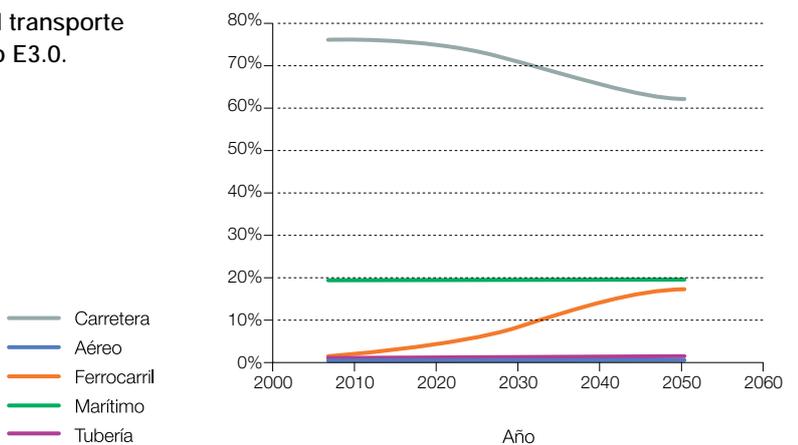


Figura 79 Escenario evolución modal del transporte de mercancías no urbano en el contexto E3.0.



En el contexto E3.0 se plantea un fuerte incremento de la movilidad de mercancías por ferrocarril como sustituto del transporte por carretera.

Figura 80 Escenario evolución movilidad absoluta modal del transporte de mercancías no urbano en el contexto BAU: todos los modos.

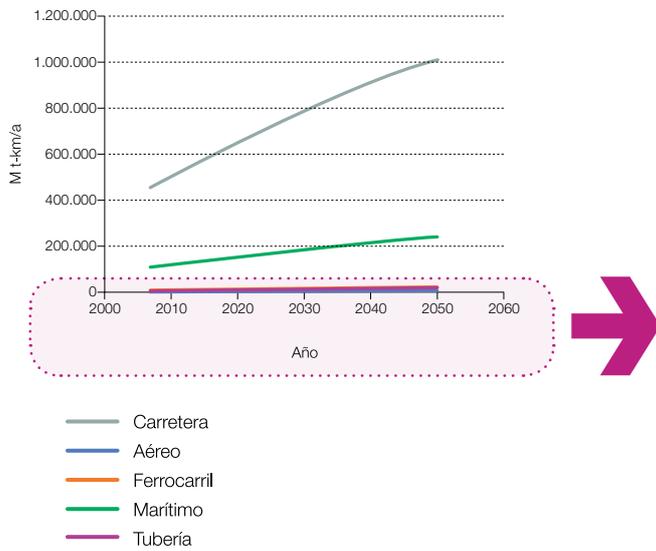


Figura 81 Escenario evolución movilidad absoluta modal del transporte de mercancías no urbano en el contexto BAU: excluyendo modos dominantes de carretera y barco.

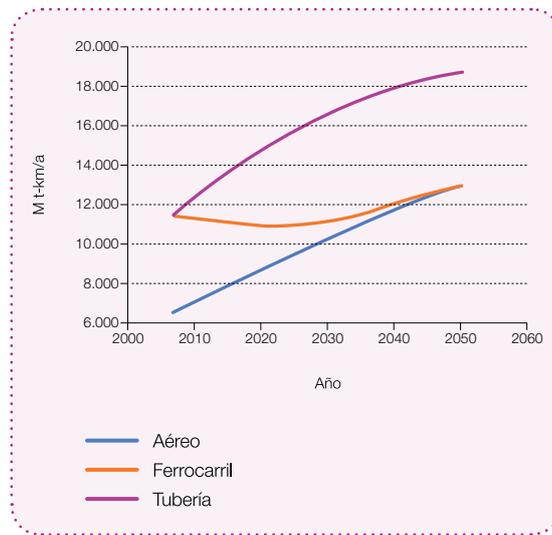
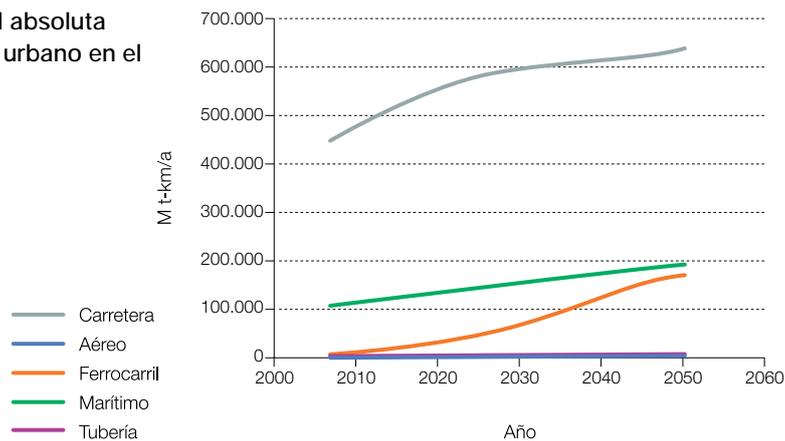


Figura 82 Escenario evolución movilidad absoluta modal del transporte de mercancías no urbano en el contexto E3.0.



5.3

Consumo de energía por modos de transporte

El siguiente paso es conocer cuánta energía necesitará cada modo de transporte, para lo que se desarrollan escenarios de evolución del consumo específico para los distintos modos de transporte de viajeros y mercancías.

Como se muestra a continuación para cada tipo de vehículo, el consumo específico modal viene determinado por dos efectos: el consumo específico de los vehículos empleados, y los factores de ocupación o de carga (CF) con el que se emplean estos vehículos. El consumo específico de los vehículos viene afectado por las mejoras y/o cambios tecnológicos, mientras que los factores de ocupación o de carga se ven especialmente afectados por la introducción de inteligencia en el sistema de transporte.

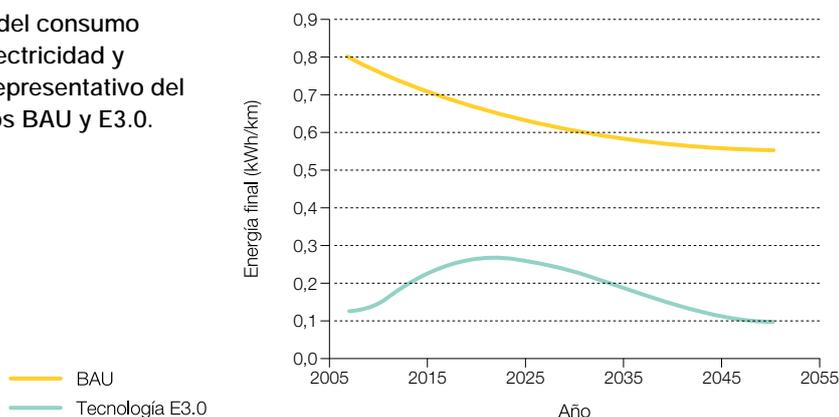
Estos son factores clave, y para conseguir desplegar el máximo potencial del STI hace falta una reestructuración económica del sector transporte para que el origen de los beneficios obtenidos pase de ser el número de vehículos vendidos, a ser la cobertura de la demanda de servicio de movilidad con el mínimo consumo energético y la máxima comodidad para los usuarios.

5.3.1 Coche

Para el escenario BAU se supone que la eficiencia energética media del parque de vehículos mejora significativamente a lo largo de todo el escenario, con una hibridación²⁹ creciente que llega a alcanzar el 20% en el año 2050. Para el escenario de tecnología³⁰ E3.0 se asume una electrificación total del parque de coches. Al principio, el consumo específico se eleva debido al aumento del tamaño y de las prestaciones de los vehículos. Posteriormente se estabiliza y empieza a reducirse cuando se introducen mejoras de eficiencia.

El siguiente aspecto a considerar es cómo se usan esos coches, fundamentalmente cuál es la ocupación con la que se usan los coches, es decir, su factor de ocupación. En el contexto BAU, se asume que se consigue invertir la tendencia histórica a la reducción de este factor durante los próximos años, para posteriormente pasar a adquirir tasas crecientes del mismo hasta el final del escenario. En el contexto E3.0, el coche evoluciona progresivamente hacia una situación de servicio colectivo desde su condición actual de servicio particular, de forma que mayoritariamente ya no necesitan ser propiedad del demandante del servicio de movilidad, sino de una empresa (pública o privada) de prestación de servicios de movilidad. En estas condiciones, el escenario E3.0 llega a alcanzar valores del CF del orden de los actuales para la aviación, puesto que, al igual que ésta, se tratará de una flota optimizada que además adaptará el tipo de vehículo (tamaño) a las necesidades de cada servicio.

Figura 83 Escenarios de evolución del consumo específico total de energía final (electricidad y combustible) de un coche medio representativo del parque de coches en los escenarios BAU y E3.0.



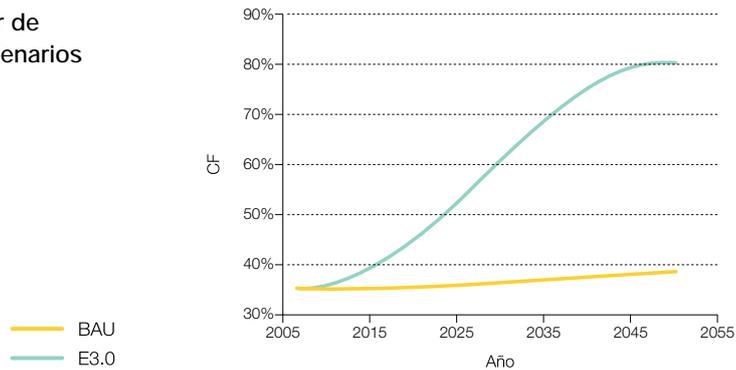
²⁹ Entendida como el porcentaje del consumo fósil que es sustituido por electricidad, referida al promedio del parque de coches.

³⁰ El consumo energético en los escenarios de tecnología E3.0 es el que se obtendría de aplicarse dicha tecnología eficiente en cada momento. Por eso no tienen por qué partir del mismo punto que los BAU, ya que incluso en la actualidad el consumo energético sería diferente de utilizarse la tecnología E3.0 actual o la tecnología BAU. El grado de utilización de una u otra tecnología aparecerá reflejado en los escenarios de transición.



En 2008 el Ayuntamiento de Madrid puso en marcha su segunda línea de microbuses eléctricos. Además de su alimentación exclusivamente eléctrica, su tamaño permite que accedan a lugares donde con otro modelo de autobús no es posible.

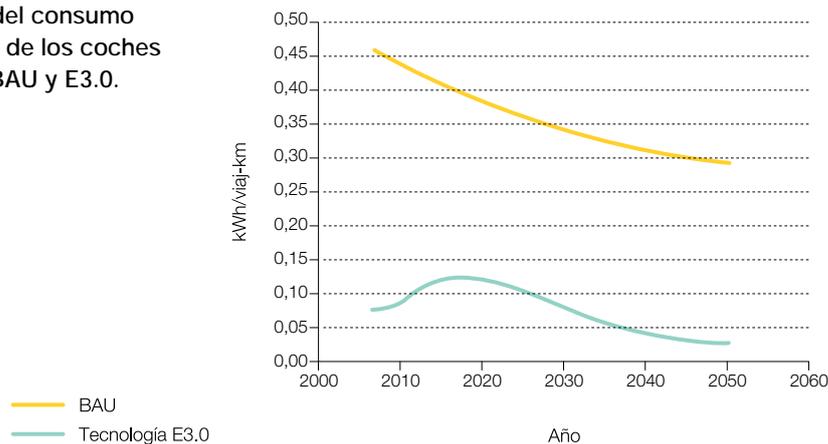
Figura 84 Escenarios de evolución del factor de ocupación del parque de coches en los escenarios BAU y E3.0.



Con todo ello se elaboran los escenarios de consumo específico por unidad de movilidad del modo de transporte coche. El contexto E3.0 presenta una mayor eficiencia, gracias a la electrificación y a la concentración en compañías operadoras de servicios de movilidad, con la ventaja adicional de ofrecer un gran potencial de contribución a la regulación del sistema energético

integrado. De este modo, en el contexto de un STI y con unos mecanismos económicos en los que el beneficio quede directamente vinculado al ahorro y la eficiencia, el coche adquiere un nuevo papel, y deja atrás sus inconvenientes actuales (contaminación, ineficiencia, atascos, accidentes, elevada ocupación del suelo) y mantiene sus ventajas de mayor elasticidad.

Figura 85 Escenarios de evolución del consumo específico por unidad de movilidad de los coches representativos en los escenarios BAU y E3.0.



5.3.2 Moto

La principal diferencia del contexto E3.0 respecto al BAU es la introducción de motos (o bicicletas) eléctricas, que podrían incluso llegar a tener una capacidad de conducción automática con el STI. Mientras para el contexto BAU se plantea un escenario optimista con una sensible reducción en el consumo específico, para el E3.0 se plantea un escenario conservador de consumos

de las motos eléctricas en el que, si partimos de los valores actuales, habrá una primera etapa de crecimiento del consumo medio del parque asociada al incremento de prestaciones de las motos comercializadas, que a medida que pase el tiempo será contrarrestado por los incrementos de eficiencia en el diseño y la operación de estos vehículos.

Por lo que respecta a la ocupación, en un contexto BAU se considera que no hay opción de mejora respecto a la

situación actual, mientras que en E3.0 el STI es el que marca las diferencias fundamentales.

Con todo ello se elabora el escenario de consumos específicos por unidad de movilidad para las motos.

Figura 86 Escenarios BAU y tecnología E3.0 de consumos específicos de las motos por vehículo representativo del parque.

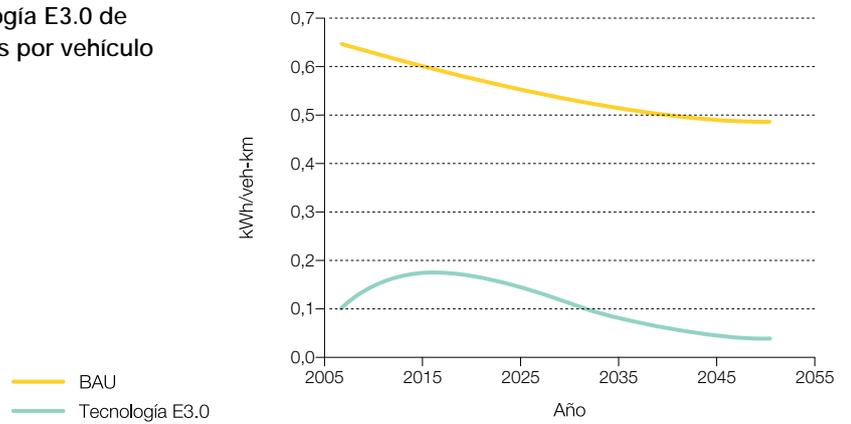


Figura 87 Escenarios BAU y E3.0 del factor de ocupación de las motos.

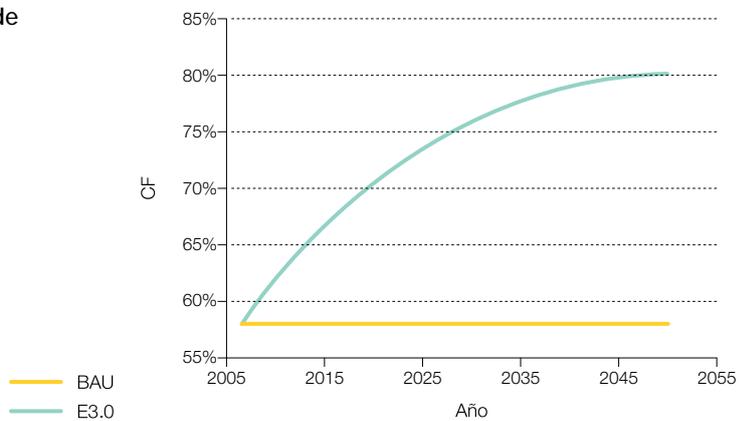
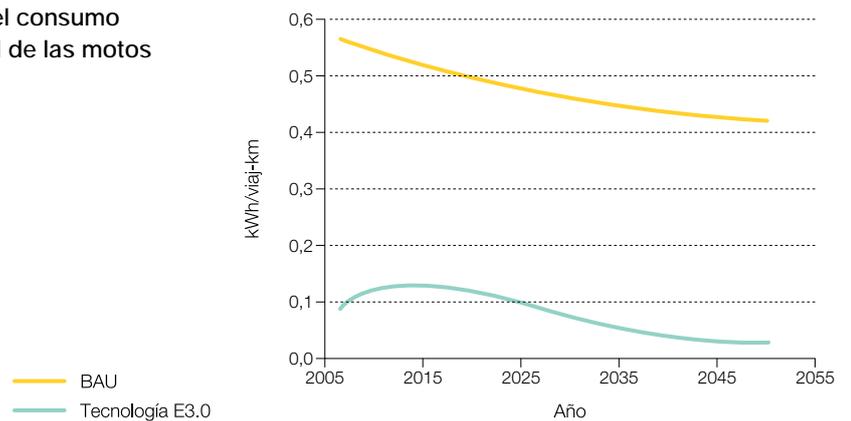


Figura 88 Escenarios BAU y E3.0 del consumo específico por unidad de movilidad de las motos representativas en cada escenario.



El coche evoluciona en el modelo Energía 3.0, progresivamente, hacia una situación de servicio colectivo desde su condición actual de servicio particular hacia empresas de prestación de servicios de movilidad.

Se comprueba que, aunque en el contexto BAU la moto presenta un mayor consumo específico por pasajero (unidad de movilidad) que el coche, en el contexto E3.0 ambos tienden a igualarse, gracias al menor consumo específico por vehículo de la moto, lo que permitiría omitir la diferenciación entre coches y motos en el contexto E3.0.

5.3.3 Autobús (transporte colectivo urbano de viajeros por carretera)

En cuanto al consumo por vehículo, en el contexto BAU se supone una hibridación creciente a partir del año 2014, mientras que en la tecnología E3.0 los autobuses son totalmente eléctricos³¹. Además de su mayor eficiencia, estos autobuses tienen grandes ventajas

desde el punto de vista del funcionamiento de un sistema energético integrado, que facilitan su participación en esquemas de gestión de la demanda eléctrica: la capacidad de acumulación eléctrica de las baterías, el patrón de uso muy predecible del parque de autobuses y la explotación por grandes empresas.

Los factores de capacidad en el contexto E3.0 son considerablemente superiores a los del BAU, por la existencia de un STI que involucra distintos tamaños de vehículo en función de la demanda de movilidad real.

Las figuras 89, 90 y 91 recogen los escenarios de consumo energético total por unidad de vehículo, factor de ocupación y consumo energético por unidad de movilidad, tanto para el contexto BAU como para la tecnología E3.0.

Figura 89 Escenarios de consumo total específico por vehículo del bus en los contextos BAU y tecnología E3.0.

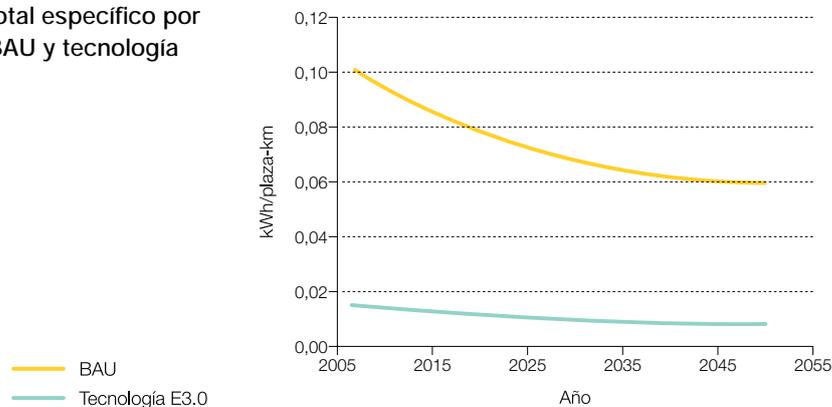
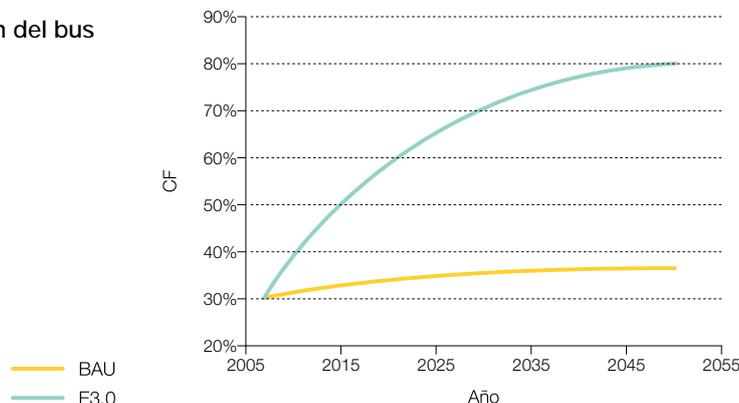
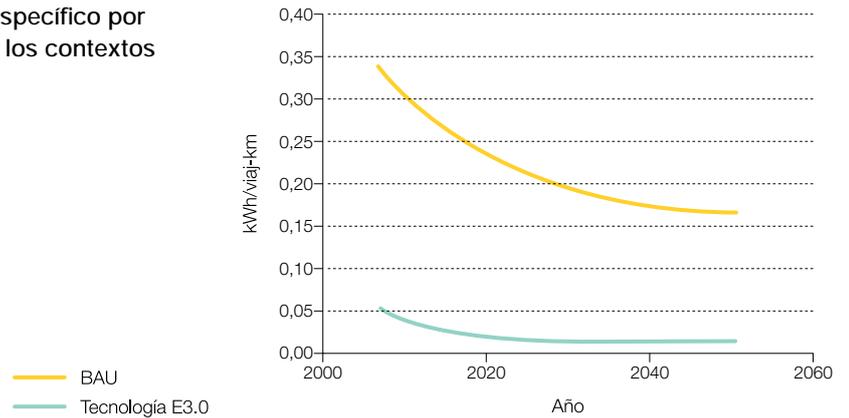


Figura 90 Escenarios de factor de ocupación del bus en los contextos BAU y E3.0.



³¹ Se incluyen en este concepto los tranvías y similares.

Figura 91 Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para el bus en los contextos BAU y tecnología E3.0.



5.3.4 Autocar (transporte colectivo interurbano de viajeros por carretera)

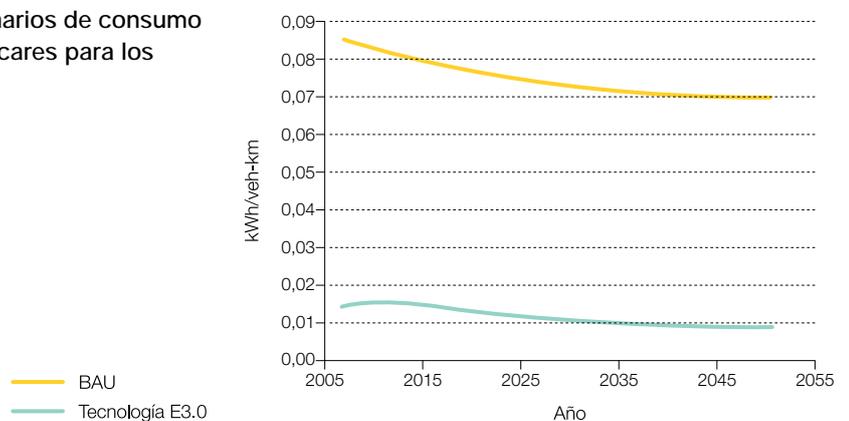
El consumo específico en ambos escenarios se diferencia en que, mientras para el contexto BAU se mantiene el uso del motor de combustión interna sin hibridación alguna, en la tecnología E3.0 los autocares son 100 % eléctricos, y se cuenta con que en las estaciones finales se puede proceder a un cambio completo de batería (sin esperar a recarga).

En cuanto a la ocupación, así como en el contexto BAU los autocares siguen circulando con CF muy bajos en

algunos trayectos, en el contexto E3.0 soportado por un STI, estas situaciones de ineficiencia extrema se eliminan cubriendo esas demandas de movilidad con otros vehículos (coches, furgonetas, minibuses, etc.) usados con elevado CF.

En la tecnología E3.0 el autocar consume del orden de la mitad que el coche por unidad de movilidad, aunque la cobertura de demanda de movilidad que hacen los autocares es inferior a la que se plantearía con un enfoque BAU, debido a que su uso se limita a esas situaciones en que se puede alcanzar un elevado CF.

Figura 92 Comparativa de los escenarios de consumo específico por vehículo de los autocares para los contextos BAU y tecnología E3.0.



En la tecnología E3.0 los autocares son 100% eléctricos y se cuenta con que en las estaciones finales se puede proceder a un cambio completo de batería (sin esperar a recarga).

Figura 93 Comparativa de los escenarios de factor de ocupación de los autocares para los contextos BAU y E3.0.

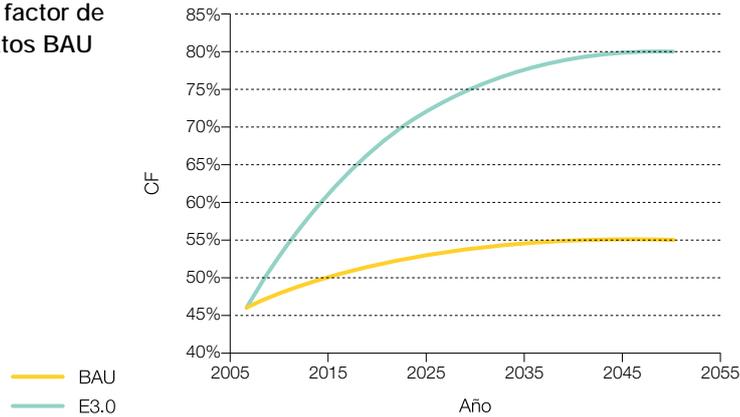
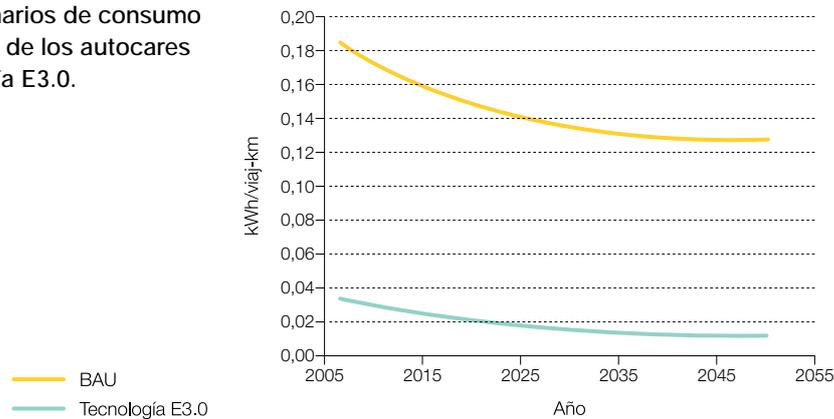


Figura 94 Comparativa de los escenarios de consumo específico por unidad de movilidad de los autocares para los contextos BAU y tecnología E3.0.



5.3.5 Metro (transporte urbano de viajeros por ferrocarril)

El potencial de reducción del consumo del metro, que se asume igual en ambos escenarios, es inferior al del ferrocarril. Por un lado ya se encuentra totalmente electrificado, y si bien puede acceder a un mayor uso del frenado regenerativo, debido a que tiene trayectos mucho más cortos entre parada y parada que el tren, tiene menos potencial de mejora por conducción eficiente,

y además, el efecto túnel empeora su aerodinámica respecto a la de un tren.

La principal diferencia entre ambos escenarios está en el grado de ocupación, ya que, en el contexto E3.0, el STI permite que el modo de carretera colectivo electrificado y los modos no motorizados actúen como una extensión del metro, acercándolo en origen y destino a la demanda de movilidad, de tal forma que faciliten la mejora del aprovechamiento de esta infraestructura de transporte.

Figura 95 Evolución del consumo específico del metro para los contextos BAU y E3.0.

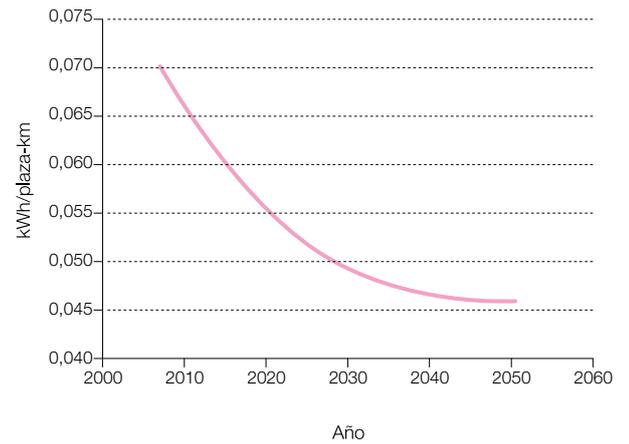


Figura 96 Evolución de los factores de ocupación del metro para los contextos BAU y E3.0.

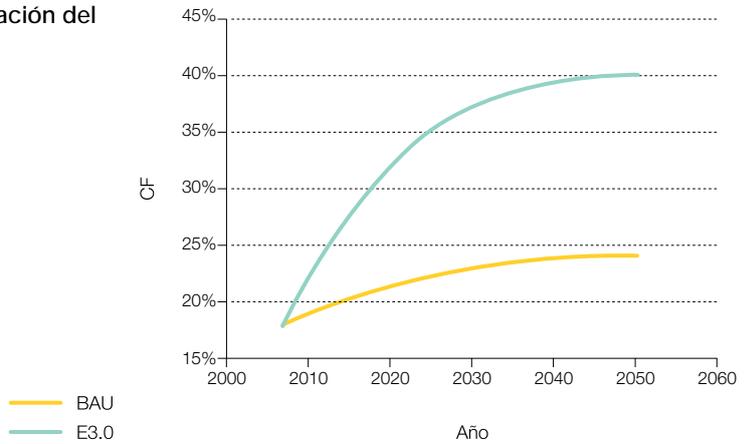
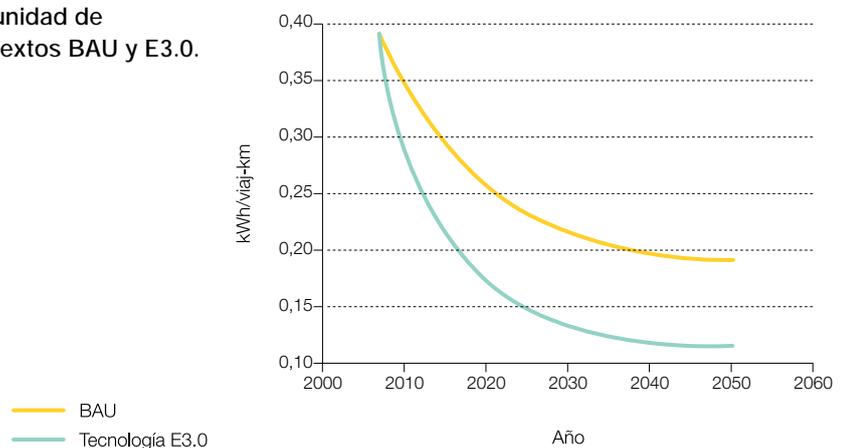


Figura 97 Consumo específico por unidad de movilidad para el metro en los contextos BAU y E3.0.



La mejor opción de eficiencia con la demanda de movilidad a través del avión es reducirla lo más posible, con elementos como la desmaterialización de la economía o la internalización de costes externos.

5.3.6 Tren de pasajeros (transporte interurbano de viajeros por ferrocarril)

Por lo que se refiere a los consumos específicos por unidad de plaza, ambos escenarios BAU y E3.0 acaban incorporando todo el potencial de frenado regenerativo, e implementando las mismas técnicas de conducción eficiente, reducción de peso, electrificación y mejoras técnicas. Los consumos específicos planteados representan un promedio de los trenes de alta velocidad, largo recorrido y cercanías. Son consumos de energía final en el tren, e incluyen tanto la electricidad como el gasóleo. La progresiva electrificación de los trenes que actualmente funcionan con gasóleo es una de las responsables de la reducción de consumo específico planteada en los escenarios.

Por lo que a la ocupación se refiere, en el contexto E3.0 se considera que el factor de ocupación es superior

por la integración del tren en el STI, y por una mayor participación de los trenes de velocidades altas, ya que un motivo para que el tren tenga una participación importante en el contexto E3.0 es debido a su capacidad de desplazar al avión en los desplazamientos de larga distancia, donde los consumos específicos del avión son muy superiores.

En un contexto E3.0 el STI debe optimizar la infraestructura existente de medios de transporte eficientes, por lo que los otros vehículos eléctricos pasan a actuar como facilitadores de la optimización de la operación del tren, al acercar en origen y destino el tren (y particularmente el de cercanías) a la demanda de movilidad. Esto conduce a un incremento del CF con el que opera el tren y por tanto a una mejora de su eficiencia. La labor del STI en el contexto E3.0 es por tanto la de optimizar e integrar la infraestructura existente de trenes dentro del sistema de transporte.

Figura 98 Consumo específico del tren por plaza disponible. Escenario común para los contextos BAU y E3.0.

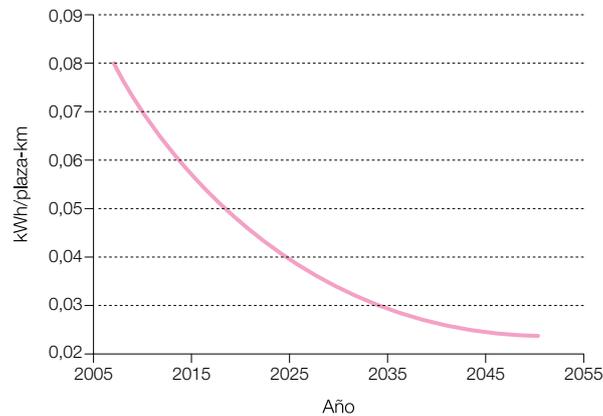


Figura 99 Escenarios de factor de ocupación del tren para los contextos BAU y E3.0.

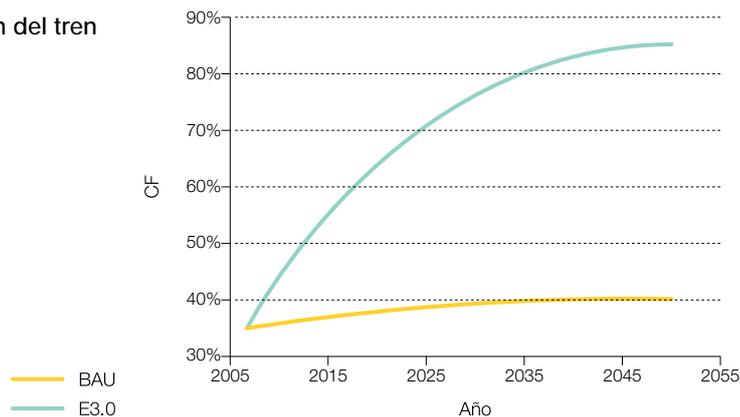
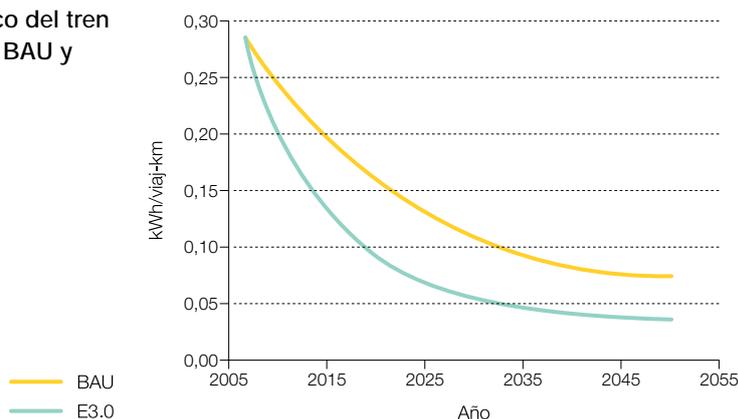


Figura 100 Escenarios de consumo específico del tren por unidad de movilidad para los contextos BAU y E3.0.



5.3.7 Avión de pasajeros

El avión es el modo de transporte más problemático a la hora de reconvertir el sistema de transporte hacia la sostenibilidad, debido a que su consumo específico es el más elevado, y debido a la falta de alternativas, tanto en opciones de otros modos de menor consumo que puedan cubrir esa demanda de movilidad, como en uso de combustible para operar los aviones.

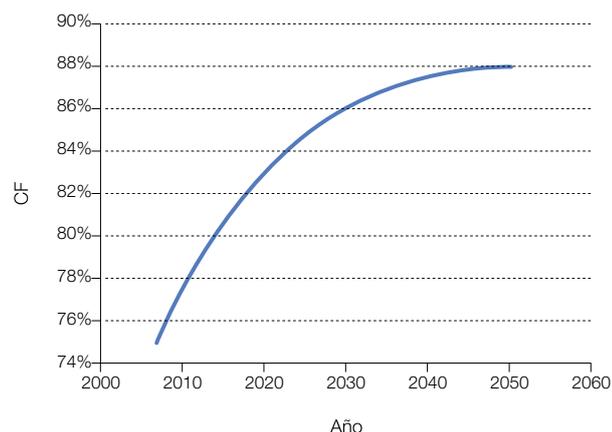
Por lo que respecta al potencial de mejora de los vehículos y sus motorizaciones, los aviones son probablemente el modo de transporte en el que más se ha avanzado por lo que respecta a su eficiencia, aunque quedaría algo de margen para la mejora en aerodinámica y motores, y menos en operación, ya que los aviones comerciales ya vuelan a una velocidad del

orden de la óptima desde el punto de vista del consumo energético.

Por lo que respecta a la ocupación de los aviones, los modelos de negocio actuales de las compañías aéreas ya tienen las señales adecuadas para buscar optimizar su explotación, y los factores de ocupación que se alcanzan ya son de los más elevados que encontramos en los distintos modos de transporte. La única opción de eficiencia con este sector de la demanda de movilidad es reducirla lo más posible, con elementos como la desmaterialización de la economía o la internalización de costes externos.

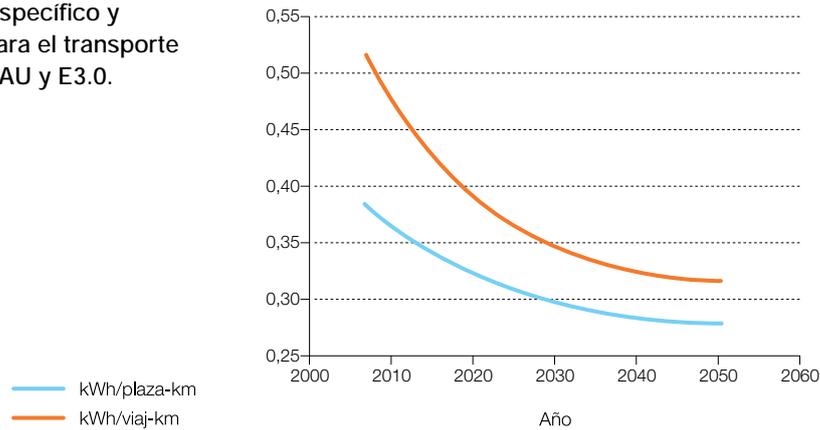
La parte de la demanda asociada al modo aéreo, en un escenario E3.0, tendrá que operar con bioqueroseno o con hidrógeno, ya que la aplicación de la electrificación a este modo de transporte es muy compleja.

Figura 101 Evolución del factor de ocupación del transporte aéreo de viajeros en los contextos BAU y E3.0. En los dos escenarios se supone la misma evolución de este factor.



La labor del STI en el contexto E3.0 es optimizar e integrar la infraestructura existente de trenes dentro del sistema de transporte.

Figura 102 Escenarios de consumo específico y consumo por unidad de movilidad para el transporte aéreo de viajeros en los contextos BAU y E3.0.



5.3.8 Barco (transporte marítimo de viajeros)

En el contexto E3.0 se considera que la parte de la demanda de movilidad que deba cubrirse por mar va a poder cubrirse tan solo con biocombustibles o hidrógeno, incluidos aportes renovables locales (como el apoyo eólico con velas de altura de guiado automático) y uso de barcos de menor consumo apoyado por el STI. No

se incluyen otras opciones más futuristas como podría ser un esquema de barcos eléctricos que recargan en electrolineras de centrales marinas de generación con olas y eólica, para mantener la filosofía por la que solo se consideran tecnologías que ya en la actualidad están dotadas de cierta madurez.

Los escenarios se presentan a continuación en las figuras 103, 104 y 105.

Figura 103 Escenarios de consumo específico por unidad de plaza para el transporte marítimo de viajeros en los contextos BAU y E3.0.

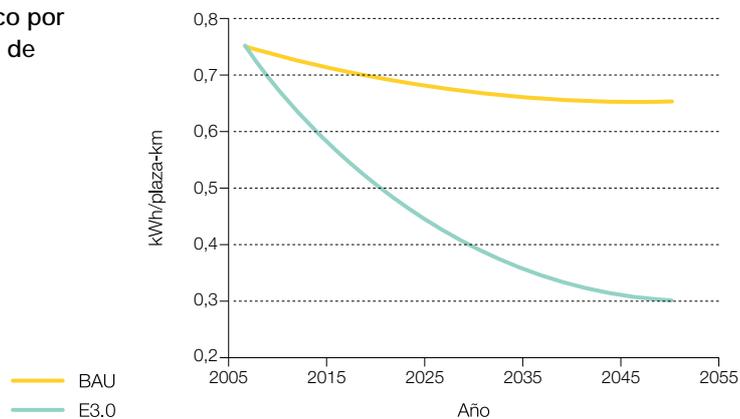


Figura 104 Escenarios de factor de ocupación para el transporte marítimo de viajeros en los contextos BAU y E3.0.

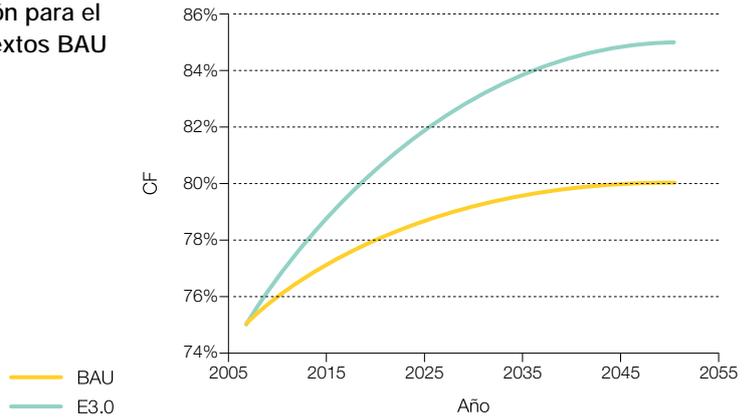
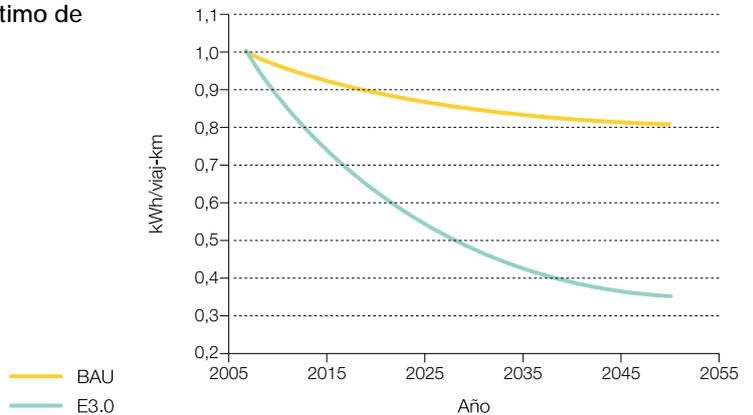


Figura 105 Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para el transporte marítimo de viajeros en los contextos BAU y E3.0.



5.3.9 Furgoneta (transporte urbano de mercancías por carretera)

Para el transporte de mercancías en entorno urbano se consideran furgonetas y camiones ligeros.

En el contexto BAU se considera que todos los vehículos operan con combustible, es decir, no se considera la

hibridación. En el contexto E3.0 se consideran vehículos eléctricos, operados con elevado CF en el marco del STI.

En las figuras 106, 107 y 108 encontramos los escenarios BAU y tecnología E3.0 para el consumo específico por capacidad de carga, el factor de carga y el correspondiente consumo específico por unidad de movilidad.

En cuanto al transporte de mercancías por carretera, en el contexto E3.0 se plantea un porcentaje creciente de vehículos medianos, que a menudo hacen solo parte de los trayectos hasta llegar a los centros modales, donde se cambia a tren o a camiones grandes.

Figura 106 Escenarios de consumo específico por capacidad de carga para el transporte urbano por carretera de mercancías, en los contextos BAU y tecnología E3.0.

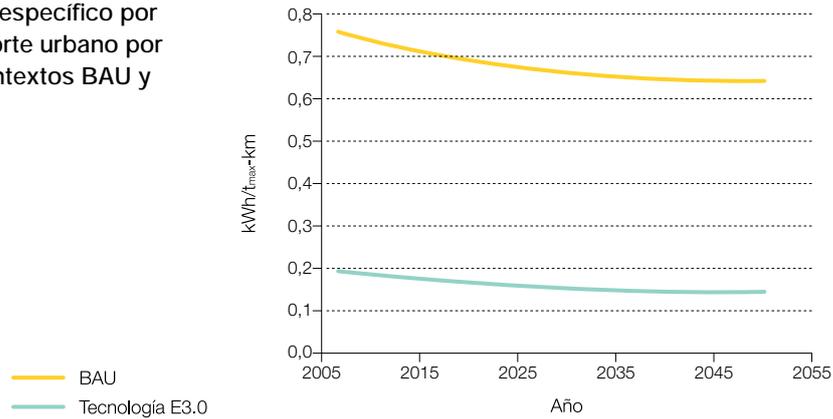


Figura 107 Escenarios de factor de carga para el transporte urbano por carretera de mercancías, en los contextos BAU y E3.0.

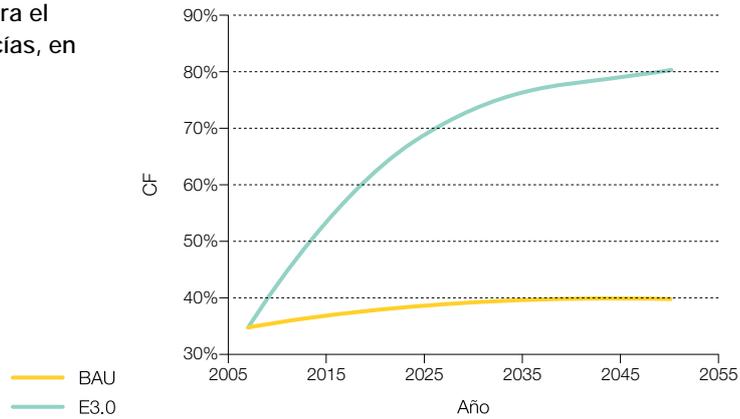
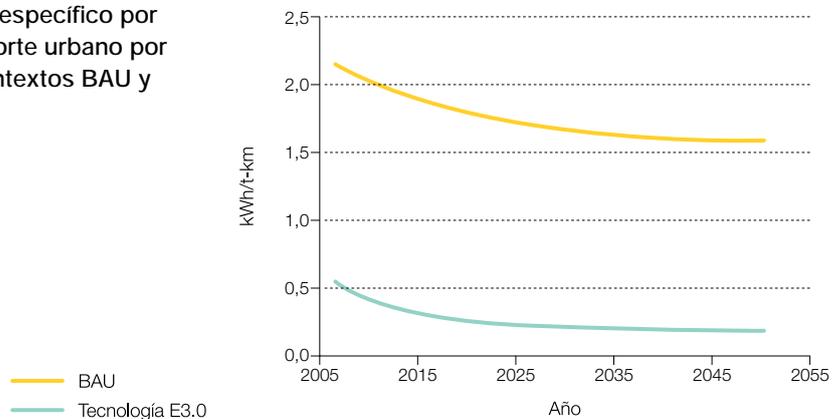


Figura 108 Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para el transporte urbano por carretera de mercancías, en los contextos BAU y tecnología E3.0.



5.3.10 Camión (transporte interurbano de mercancías por carretera)

El transporte de mercancías por carretera es el modo dominante tanto en el contexto BAU como en el E3.0.

Respecto al consumo de energía de los vehículos, para el contexto BAU se considera que los camiones funcionan exclusivamente con motor de combustión interna (sin electrificación), mientras que para el contexto E3.0 se plantea una hibridación creciente del parque de camiones, entendida a nivel de flota, donde coexisten vehículos con motor de combustión, híbridos, y totalmente eléctricos. Este cambio de motorización permite obtener ingresos adicionales por

participación en el mercado eléctrico ofreciendo servicios complementarios.

En cuanto a la utilización, dentro del contexto E3.0, se plantea un porcentaje creciente de vehículos medianos, que a menudo hacen solo parte de los trayectos hasta llegar a los centros modales, donde se cambia al tren o a camiones grandes, de tal forma que los desplazamientos de camiones grandes se limitan a las situaciones en las que pueden realizarse con CF elevado. De esta forma, y contando con un STI y un sistema logístico inteligente, la flota de camiones se usa con un factor de carga considerablemente elevado.

En las figuras 109, 110 y 111 se presentan los escenarios.

Figura 109 Escenarios de consumo específico por capacidad de carga para el transporte de mercancías por carretera, en los contextos BAU y E3.0, y para los camiones medianos (MC) y grandes (GC).

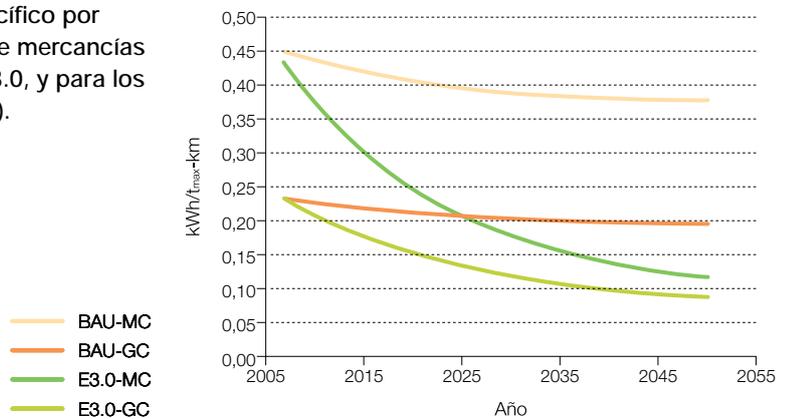
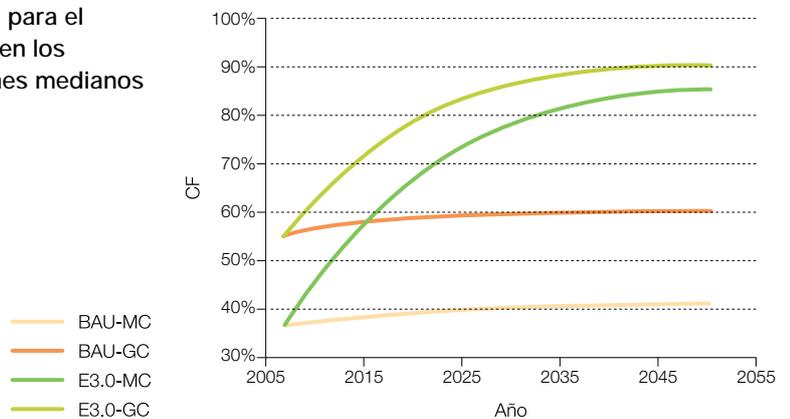
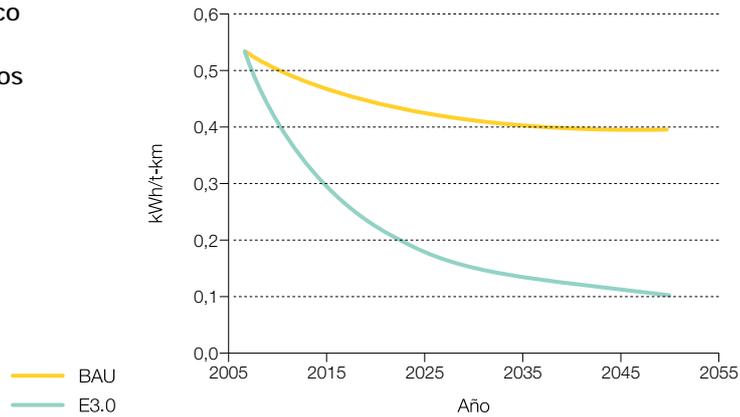


Figura 110 Escenarios de factor de carga para el transporte de mercancías por carretera, en los contextos BAU y E3.0, y para los camiones medianos (MC) y grandes (GC).



La mayor ineficiencia del avión de carga está asociada a su uso en corta distancia, donde es susceptible de ser sustituido por otros modos de transporte.

Figura 111 Escenarios de consumo específico ponderado por unidad de movilidad para el transporte de mercancías por carretera en los contextos BAU y E3.0.



5.3.11 Tren de mercancías

En los contextos BAU y E3.0 se asume un escenario común de electrificación de los ferrocarriles. La diferenciación entre ambos contextos proviene de las mayores tasas de mejora del factor de carga para el contexto E3.0 gracias a la integración del ferrocarril en un STI.

Para el transporte de mercancías el ferrocarril resulta más eficiente que la carretera, incluso en contexto E3.0, debido a la menor electrificación que se asume para el transporte de mercancías por carretera.

En las figuras 112, 113 y 114 se muestran los escenarios de consumo específico a plena carga, evolución de los CF y consumo específico por unidad de movilidad.

Figura 112 Escenario de evolución del consumo específico a plena carga para el transporte de mercancías por ferrocarril en los contextos BAU y E3.0.

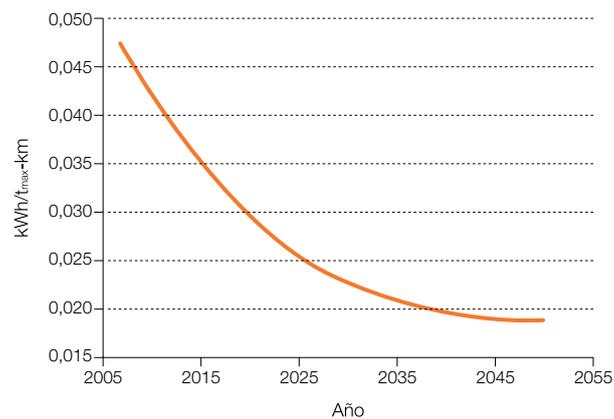


Figura 113 Escenarios de evolución del factor de carga para el transporte de mercancías por ferrocarril en los contextos BAU y E3.0.

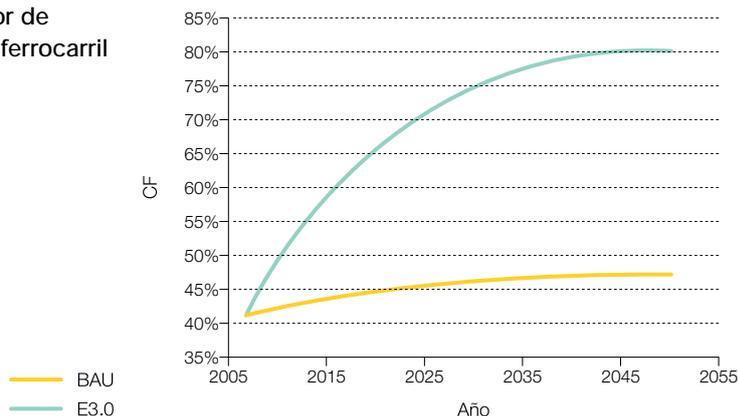
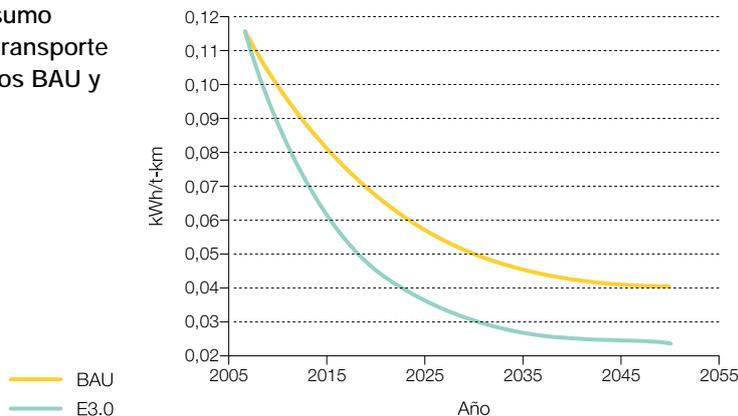


Figura 114 Escenarios de evolución del consumo específico por unidad de movilidad para el transporte de mercancías por ferrocarril en los contextos BAU y E3.0.



5.3.12 Avión de carga

El transporte aéreo de mercancías es problemático ya que, como en el caso de viajeros, es el modo de mayor consumo específico, se encuentra ya altamente optimizado, y no existen opciones de cambio modal que proporcionen las mismas características de movilidad. No obstante, la mayor ineficiencia está asociada al transporte a corta distancia, que es el que sí es susceptible de ser sustituido por otros modos de transporte.

Dada la limitada participación de este modo tanto en el contexto BAU como en el E3.0, se plantea un escenario común para ambos contextos, en el que se consigue una reducción del consumo específico, tanto por mejoras técnicas como por mejoras de tráfico aéreo y por limitar el uso de este modo para los desplazamientos de mayor distancia, y se implementan medidas para incrementar el factor de carga.

En las figuras 115 y 116 se presentan los correspondientes escenarios.

Figura 115 Escenario de evolución del factor de carga del transporte aéreo de mercancías por avión para los contextos BAU y E3.0.

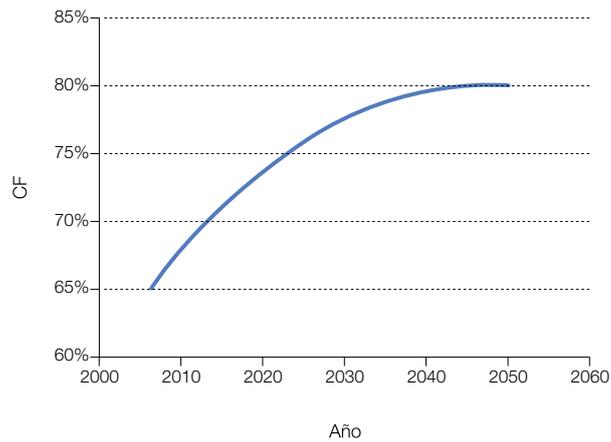
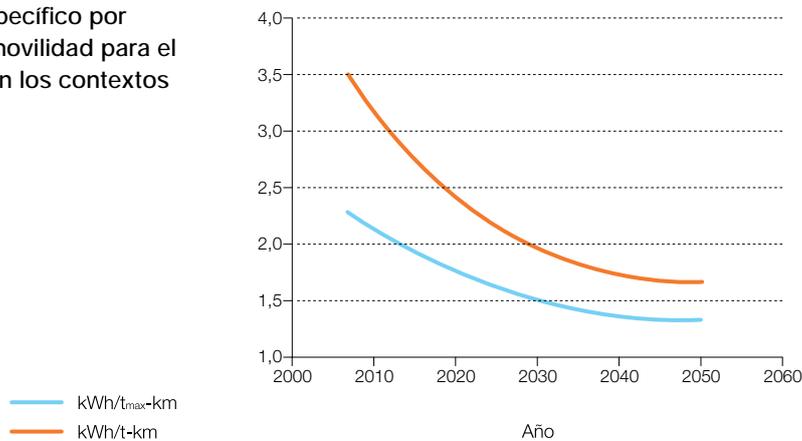


Figura 116 Escenarios de consumo específico por capacidad de carga y por unidad de movilidad para el transporte de mercancías por avión, en los contextos BAU y E3.0.



5.3.13 Buque de carga (transporte marítimo de mercancías)

Los dos contextos se diferencian en que para el E3.0 se suponen mayores tasas de eficiencia energética, con escalones respecto al BAU asociados a la introducción de la tracción eólica automatizada con velas de altura, y por acceder gracias al STI a barcos de mayor tamaño, que tienen mucho menor consumo específico. El CF también alcanza valores considerablemente superiores en el contexto E3.0 gracias a la integración en el STI.

Para el transporte marítimo no se plantea electrificación alguna, por lo que resulta otro modo de transporte

para el cual la biomasa y/o el hidrógeno son las únicas alternativas. Sin embargo, en el marco de un STI sería posible el planteamiento de considerar una red de electrolineras y puntos de recarga marítimos, alimentados con energías renovables locales (olas y eólica), que permitieran electrificar el transporte marítimo internacional.

En las figuras 117, 118 y 119 se muestran los escenarios BAU y E3.0 de consumo específico a máxima carga, factor de carga y consumo específico por unidad de movilidad.

Figura 117 Escenarios de evolución del consumo específico a máxima carga para el transporte de mercancías por barco en los contextos BAU y tecnología E3.0.

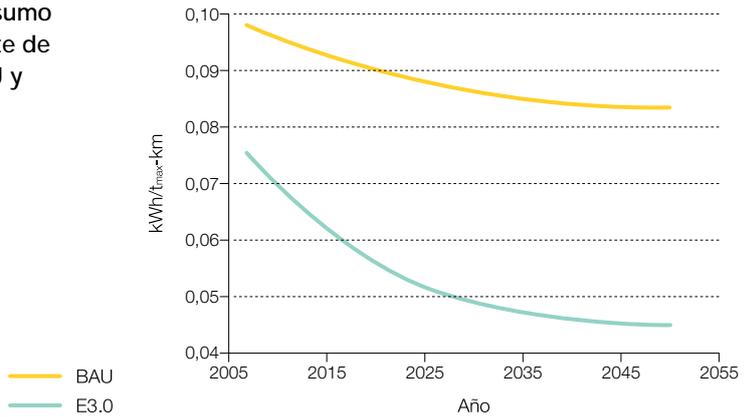


Figura 118 Escenarios de evolución del factor de carga para el transporte de mercancías por barco en los contextos BAU y E3.0.

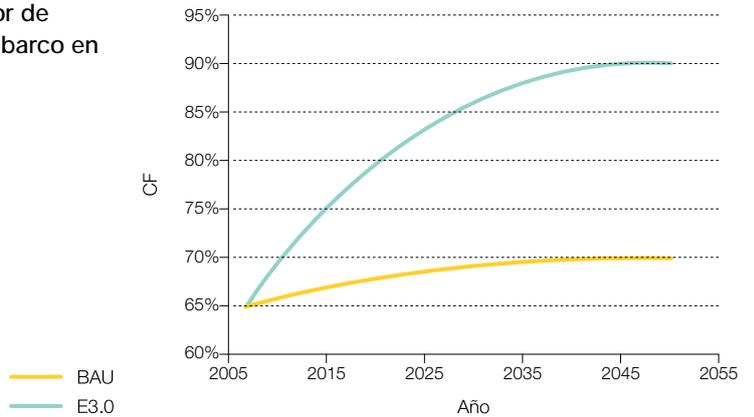
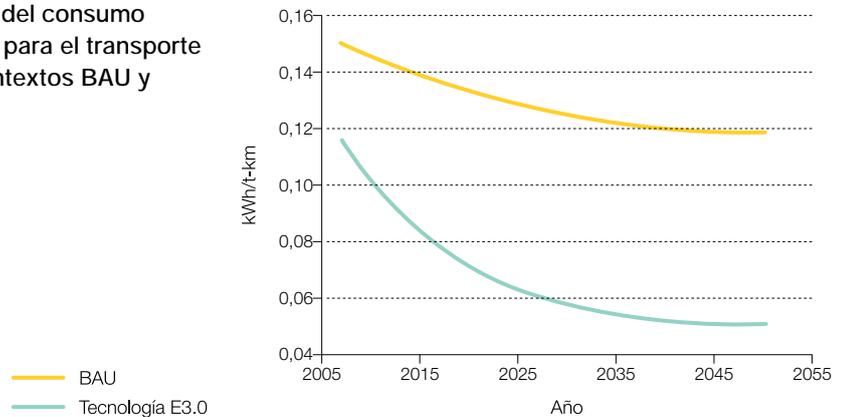


Figura 119 Escenarios de evolución del consumo específico por unidad de movilidad para el transporte de mercancías por barco en los contextos BAU y tecnología E3.0.



Desde el punto de vista del individuo, la opción más eficiente está en elegir los modos colectivos y los no motorizados.

5.3.14 Tubería

El consumo de energía del transporte de mercancías líquidas y gaseosas por tubería se ve afectado por el diámetro de la tubería y por la velocidad. Así, al emplear diámetros suficientemente grandes, se puede acceder a valores bajos del consumo específico, mientras que para valores de la velocidad comparables a los de otros modos de transporte (60 km/h), el consumo específico por unidad de movilidad del modo tubería es mucho más elevado que el que proporciona otras alternativas.

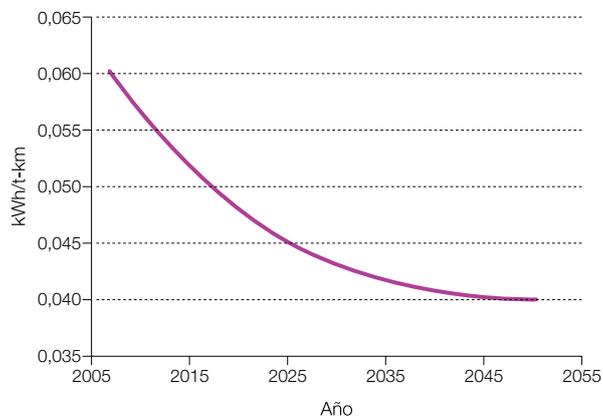
La diferencia entre los dos contextos está en el tipo de mercancías a transportar. Mientras en el BAU lo que se transporta fundamentalmente son productos petrolíferos y gas natural, en el E3.0 estas infraestructuras de transporte serían adecuadas para

transportar combustibles derivados de la biomasa (biocombustibles, biogás, gas de gasógeno, etc.), con lo que desempeñarían un papel parecido al que hacen en la actualidad.

Pero en cuanto al consumo de energía se establece un único escenario del transporte por tubería para los contextos BAU y E3.0, que plantea una progresiva reducción del consumo específico por unidad de movilidad, debido a: reducción de la rugosidad de las tuberías (materiales), aumento del diámetro de las tuberías, mejora del rendimiento de bombeo, reducción de la velocidad de circulación y diferente reparto líquido/gas.

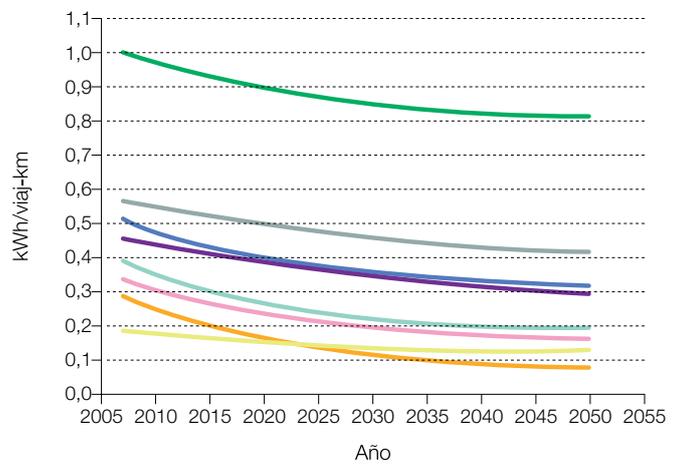
En la figura 120 se presenta el escenario asumido para la evolución del consumo específico por unidad de movilidad.

Figura 120 Escenario de evolución del consumo específico por unidad de movilidad para el transporte de mercancías por tubería en los contextos BAU y E3.0.



5.3.15 Comparativa de consumos específicos de los distintos modos de transporte de viajeros

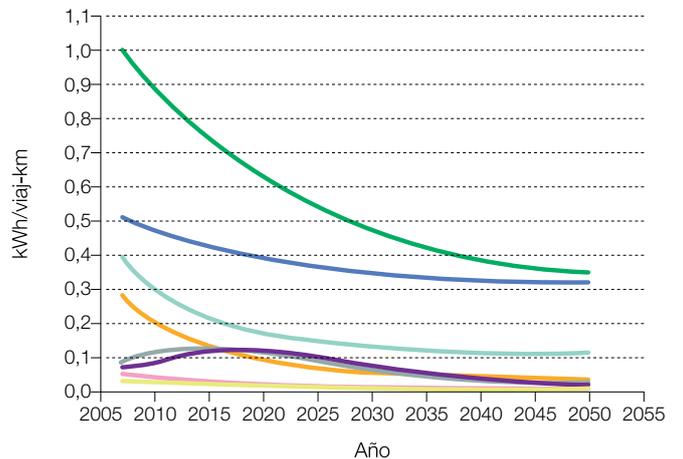
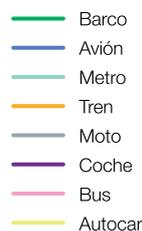
Figura 121 Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para los distintos modos de transporte de viajeros en el contexto BAU.



Como muestra la figura 121, en el contexto BAU los modos más dominantes (carretera y avión) son también los de mayor consumo específico (exceptuando el modo marítimo, que afortunadamente tiene un bajo peso en el reparto modal). Dado que el potencial de mejora de estos modos dominantes es muy limitado, las opciones para intentar reducir el impacto energético del sector transporte en el contexto BAU pasan exclusivamente

por buscar un cambio modal a los modos de menor consumo energético (los denominados transporte público en contexto BAU), pero en el contexto BAU el potencial de este cambio modal es muy limitado (y con tiempo de respuesta muy lento). En cualquier caso, desde el punto de vista del individuo, la opción más eficiente está en elegir los modos colectivos y los no motorizados.

Figura 122 Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para los distintos modos de transporte de viajeros en la tecnología E3.0.



En el contexto E3.0, uno de los componentes principales del transporte por carretera colectivo en el marco del STI es lo que en el contexto BAU denominábamos transporte por carretera particular (coches y motos), que ha reducido su consumo específico a valores del orden de los modos de transporte más eficientes (gracias a la electrificación y al incremento en el CF que permite el STI). Por tanto, una de las importantes estrategias del contexto E3.0 para poder facilitar la rápida evolución del sistema de transporte hacia una condición más sostenible es un cambio de enfoque respecto a esos modos de movilidad que son dominantes y poco eficientes en la actualidad. Frente al enfoque convencional de pretender potenciar un cambio modal hacia otros modos más eficientes, en el contexto E3.0 se reconvierten esos modos hacia la eficiencia (mecanismo de respuesta mucho más rápida y con un potencial muy superior de producir un cambio de gran magnitud).

En este mismo contexto el modo de transporte más problemático que permanece es el aéreo, por lo que uno de los objetivos fundamentales es limitar al mínimo el uso del avión, y traspasar hacia el ferrocarril los desplazamientos interurbanos nacionales, en los que el ferrocarril puede ofrecer un servicio comparable, e incluso mejor que el modo aéreo.

5.3.16 Comparativa de consumos específicos de los distintos modos de transporte de mercancías

Como muestran las figuras 123 y 124, en el contexto BAU el modo avión presenta un consumo específico tan elevado respecto a los otros que se requiere una ampliación de la escala del gráfico para distinguir los otros modos. El modo carretera es el de mayor consumo del resto de modos. El modo ferrocarril es en el contexto BAU el de mayor eficiencia, pero a falta de introducción de inteligencia, su participación modal se ve limitada a valores muy bajos.

Figura 123 Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para los distintos modos de transporte de mercancías en el contexto BAU.

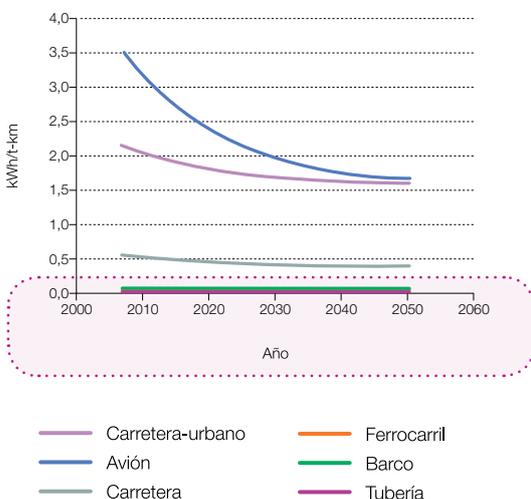


Figura 124 Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para los modos de transporte de mercancías en el contexto BAU excluyendo los modos dominantes de carretera y avión.

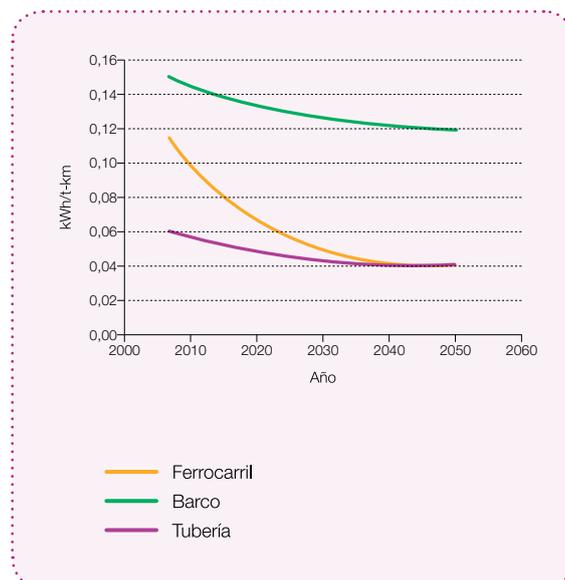
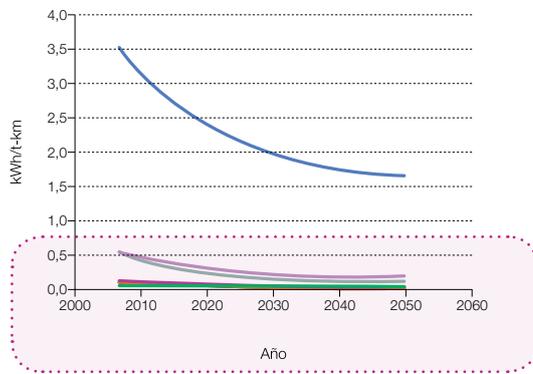
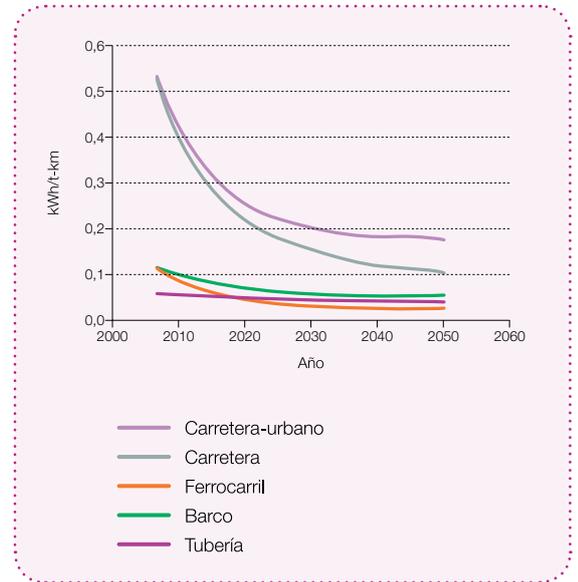


Figura 125 Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para los distintos modos de transporte de mercancías de la tecnología E3.0.



— Carretera-urbano	— Ferrocarril
— Avión	— Barco
— Carretera	— Tubería

Figura 126 Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para los modos de transporte de mercancías de la tecnología E3.0 excluyendo el modo dominante (avión).



— Carretera-urbano
— Carretera
— Ferrocarril
— Barco
— Tubería

En el contexto E3.0, figuras 125 y 126, el principal cambio es que el consumo específico de los modos de transporte por carretera se consigue acotar de forma significativa, y se acerca a valores del orden de los modos más eficientes hacia el final del escenario. Sin

embargo, el ferrocarril sigue presentando para el caso de las mercancías una eficiencia significativamente superior, motivo por el cual en el contexto E3.0 se busca favorecer un importante cambio modal hacia este modo (apoyado por el STI).

En el contexto E3.0, coches, motos y autobuses son elementos integrantes de un mismo STI que ajusta el tamaño del vehículo a las características de la demanda de movilidad, y son todos ellos vehículos eléctricos.

5.4

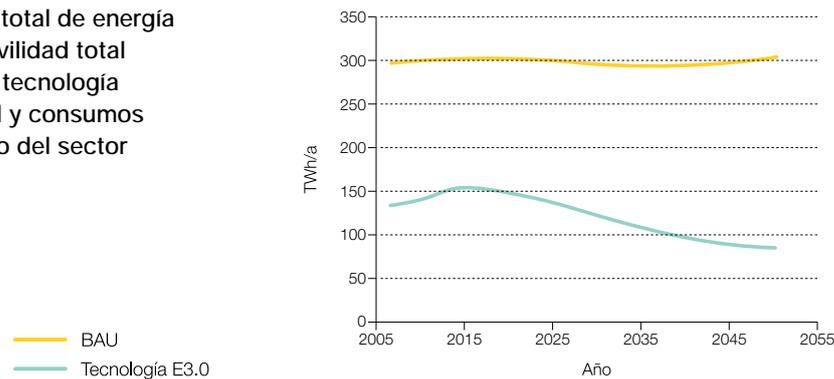
Escenarios de demanda energética total

En este punto se unen los escenarios de demanda de movilidad, reparto modal y consumo específico modal, para configurar los escenarios de demanda energética total del sector transporte.

5.4.1 Viajeros

Con los resultados de los capítulos anteriores en cuanto a demanda de movilidad y consumos específicos, se obtienen los escenarios resultantes de demanda de energía para cubrir la demanda total de movilidad de viajeros en los contextos BAU y tecnología E3.0. Se observa cómo al final del escenario la demanda de energía de la tecnología E3.0 es del orden de un tercio de la BAU:

Figura 127 Escenarios de demanda total de energía final para cubrir la demanda de movilidad total de viajeros en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



A continuación en la figura 128 se presenta la participación de cada modo de transporte en esta demanda energética. En el contexto BAU se ve cómo la demanda de energía está dominada por los modos coche y avión. El avión incrementa el consumo energético a lo largo del tiempo y el coche lo reduce, para llegar al final del escenario con valores del mismo

orden. En el contexto E3.0, la demanda energética está claramente dominada por el modo aéreo, y a pesar de la contracción que se consigue en este modo, al final del escenario el dominio energético del modo aéreo es absoluto. Esta es una indicación más de hasta qué punto el transporte aéreo de viajeros se convierte en el aspecto más crítico de un contexto E3.0.

Figura 128 Estructura modal de la demanda de energía final asociada a la cobertura de la demanda de movilidad de viajeros en el contexto BAU.

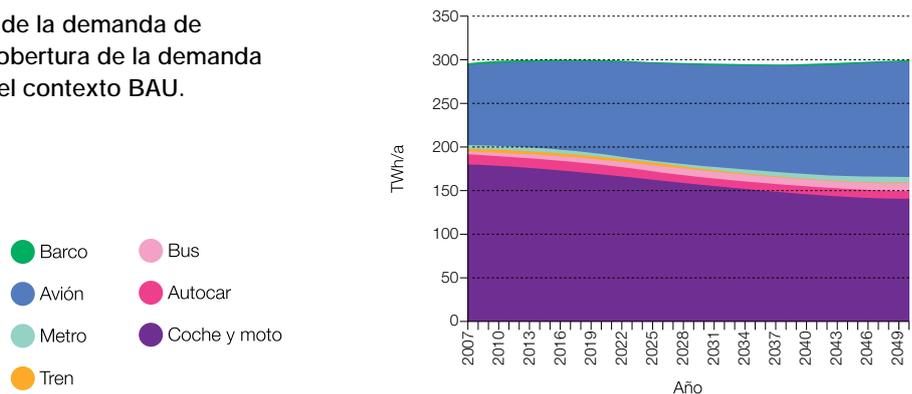
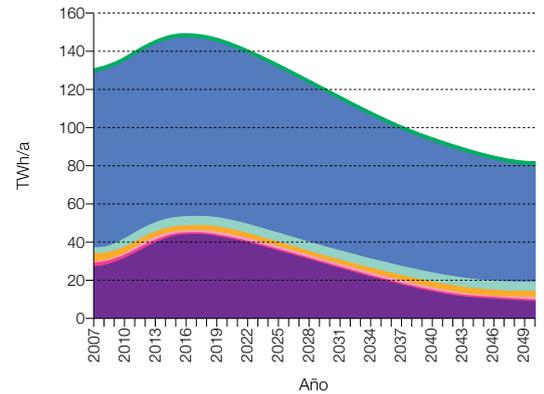


Figura 129 Estructura modal de la demanda de energía asociada a la cobertura de la demanda de movilidad de viajeros en el contexto E3.0.



La anterior demanda se puede desagregar entre urbana e interurbana, así como entre aquella que se demanda en forma de electricidad y la que es en forma de un combustible. La tecnología E3.0, con su decidido impulso a la electrificación del transporte, demanda más electricidad, especialmente al inicio del escenario, debido al incremento de demanda de prestaciones de los vehículos eléctricos al principio de su introducción, mientras que, hacia el final del escenario, las medidas de eficiencia incorporadas en el contexto E3.0 permiten que, con una demanda eléctrica del mismo orden de magnitud que la del contexto BAU, se alcance una cobertura eléctrica de la demanda de movilidad muy superior.

Por último, se muestra la participación de cada modo en la demanda de movilidad. En primer lugar, por lo que respecta a la movilidad urbana, vemos que es creciente a lo largo de todo el periodo considerado (aunque con tasas decrecientes), tanto en los contextos BAU como E3.0; sin embargo, así como en el contexto BAU el modo dominante es el coche, que además opera a partir de combustible, en el contexto E3.0 se consigue desplazar hacia el autobús el peso dominante al final del escenario. Pero es más, en el contexto E3.0, coches, motos y autobuses constituyen elementos integrantes de un mismo STI que ajusta el tamaño del vehículo a las características de la demanda de movilidad, y son todos ellos vehículos eléctricos.

Figura 130 Estructura modal de la demanda de movilidad absoluta urbana de viajeros para el contexto BAU.

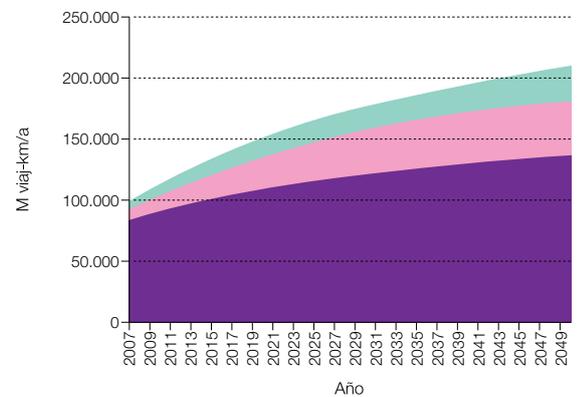
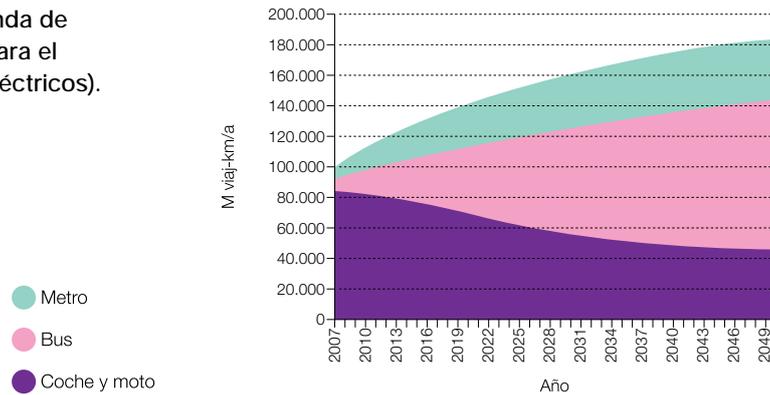


Figura 131 Estructura modal de la demanda de movilidad absoluta urbana de viajeros para el contexto E3.0 (coche, moto y bus son eléctricos).



Por lo que respecta a la demanda interurbana de movilidad, el contexto BAU se encuentra caracterizado por una participación creciente del modo aéreo, que acaba siendo el dominante, con el modo carretera en segundo lugar, que cubre una cantidad aproximadamente

constante de la demanda de movilidad total. En el contexto E3.0 el modo dominante es la carretera, creciente a lo largo del escenario, que junto al crecimiento del modo ferrocarril consiguen ir atenuando la parte de la demanda de movilidad cubierta por el modo aéreo.

Figura 132 Estructura modal de la demanda de movilidad absoluta interurbana de viajeros para el contexto BAU.

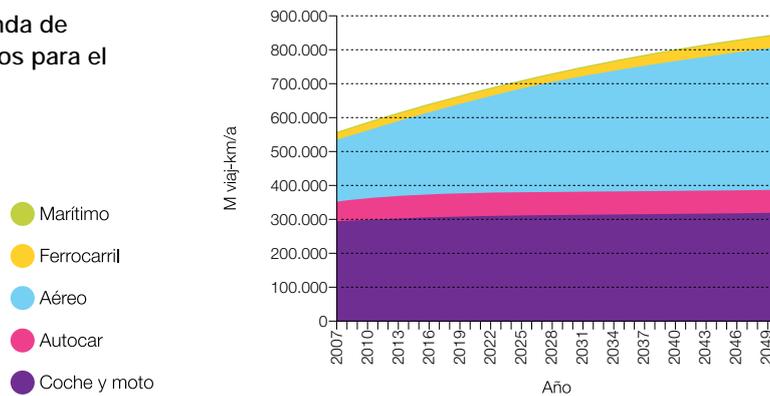
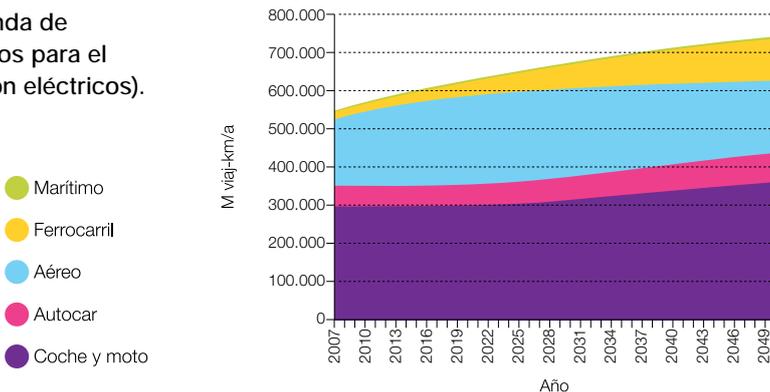


Figura 133 Estructura modal de la demanda de movilidad absoluta interurbana de viajeros para el contexto E3.0 (coche, moto y autocar son eléctricos).

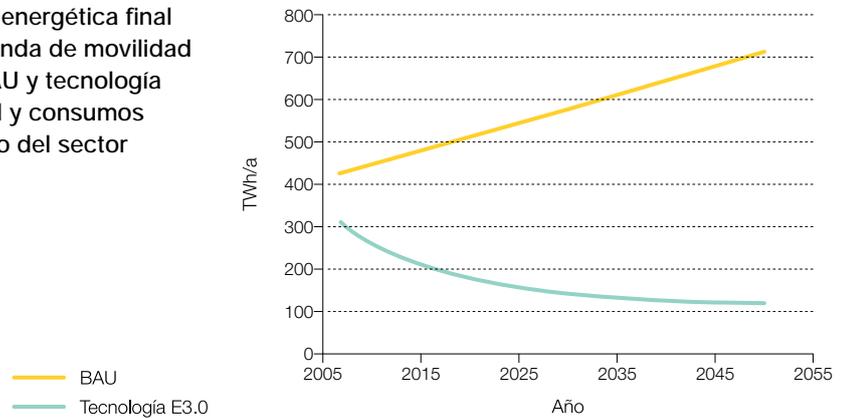


5.4.2 Mercancías

Como en el caso de pasajeros, se obtienen los escenarios resultantes de demanda de energía asociada a la cobertura de la demanda de movilidad de mercancías, para los contextos BAU y tecnología

E3.0. El escenario BAU mantiene tasas crecientes, y aproximadamente constantes, a lo largo de todo el escenario, sin signo alguno de contracción. Por el contrario, en el contexto E3.0 se mantiene una contracción en la demanda de energía que tiende a la estabilización al final del escenario.

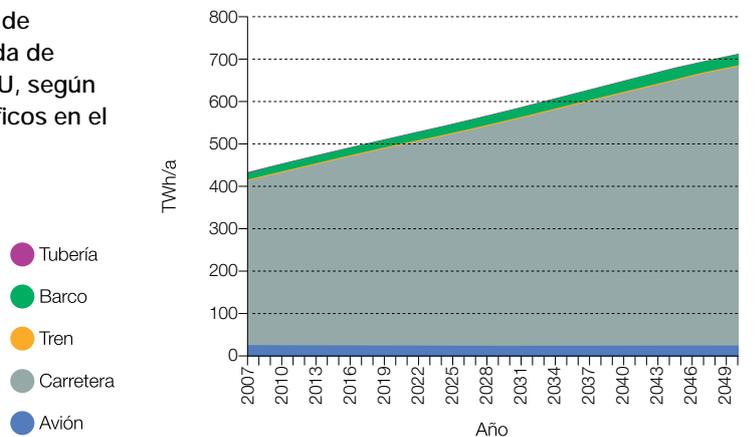
Figura 134 Escenarios de demanda energética final asociada a la cobertura de la demanda de movilidad de mercancías en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



Esta demanda de energía se muestra en las figuras 135 y 136 desagregada por modos de transporte, en los contextos BAU y E3.0. En ambos casos, el modo carretera es el dominante en dicha demanda de energía, pero en el contexto E3.0 se obtiene una importante

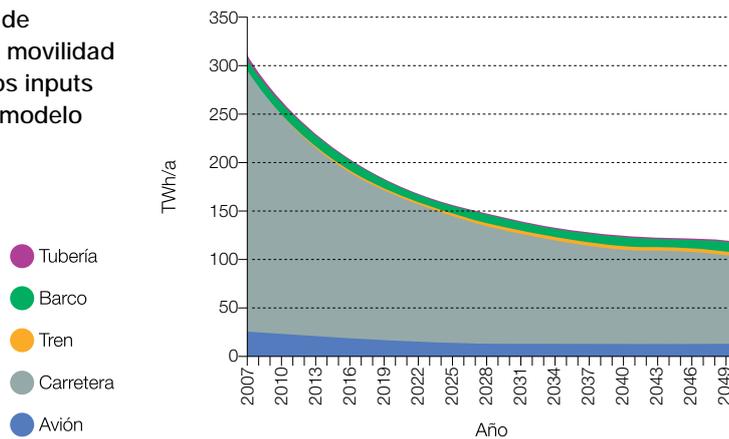
contracción de la demanda de energía de este modo, que es la principal responsable de la contracción total en la demanda de energía para movilidad de mercancías, y todo ello a pesar de la limitada contracción de la demanda de movilidad.

Figura 135 Estructura modal de la demanda de energía final para la cobertura de la demanda de movilidad de mercancías en el contexto BAU, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



El cambio en escalón dentro del sector de transporte que permite abandonar la senda actual de un consumo sectorial galopante, para establecerse en el contexto E3.0, se apoya fundamentalmente en el despliegue de inteligencia (STI) y en la electrificación.

Figura 136 Estructura modal de la demanda de energía para la cobertura de la demanda de movilidad de mercancías en el contexto E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.

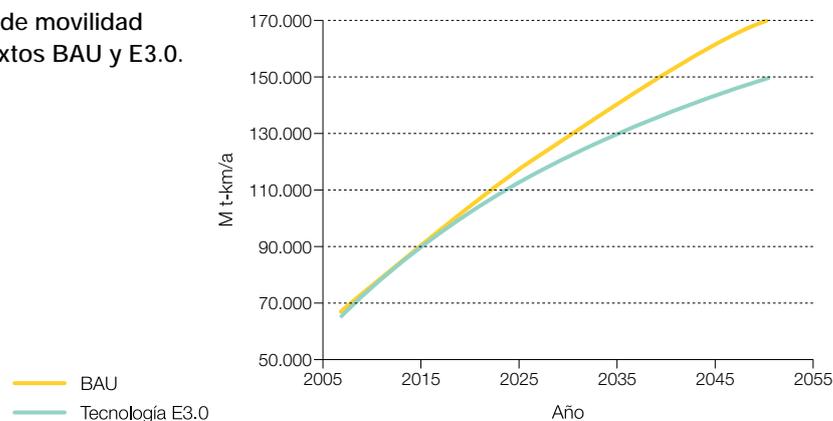


Si se desagrega esta demanda de energía en términos de energía eléctrica y combustible, en el contexto BAU, se encuentra que la demanda de energía en forma de combustible para cubrir la demanda de movilidad de mercancías llega a superar a finales del escenario los 713 TWh/a, una cantidad muy superior al recurso total de biomasa disponible, lo cual constituye una clara indicación de la insostenibilidad del contexto BAU. En el contexto E3.0 se produce un gran incremento del consumo de electricidad para la cobertura de esta

demanda de movilidad, asociado a una electrificación que pasa de ser inferior al 1% a alcanzar el 50% (en términos de energía final).

Por último, en la figura 137 se muestra la demanda de movilidad absoluta de mercancías, tanto urbana como interurbana. La demanda de movilidad de mercancías urbana se encuentra totalmente cubierta por el modo carretera. Tanto en los contextos BAU como E3.0 se mantienen tasas de crecimiento positivas (aunque decrecientes) a lo largo del escenario, sin alcanzar una saturación.

Figura 137 Escenarios de demanda de movilidad urbana de mercancías en los contextos BAU y E3.0.



En cuanto a la demanda de movilidad interurbana de mercancías, se comprueba en las figuras 138 y 139 que en ambos escenarios está dominada por el transporte

por carretera, si bien en el contexto E3.0 se consigue estabilizar hacia el final del escenario la demanda de movilidad por este modo de transporte.

Figura 138 Estructura modal del escenario de demanda de movilidad interurbana de mercancías en el contexto BAU.

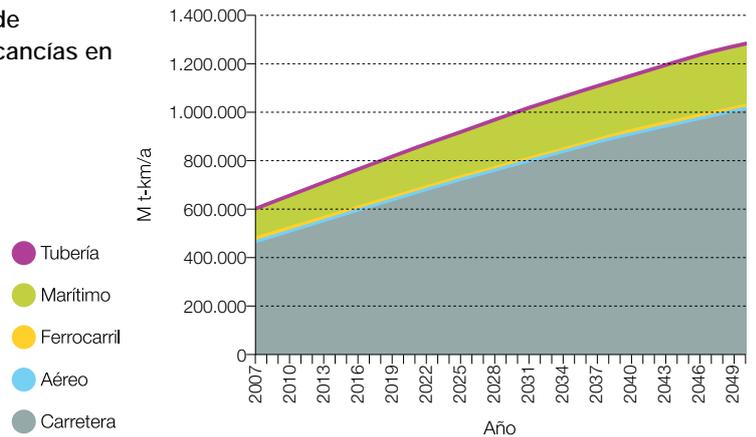
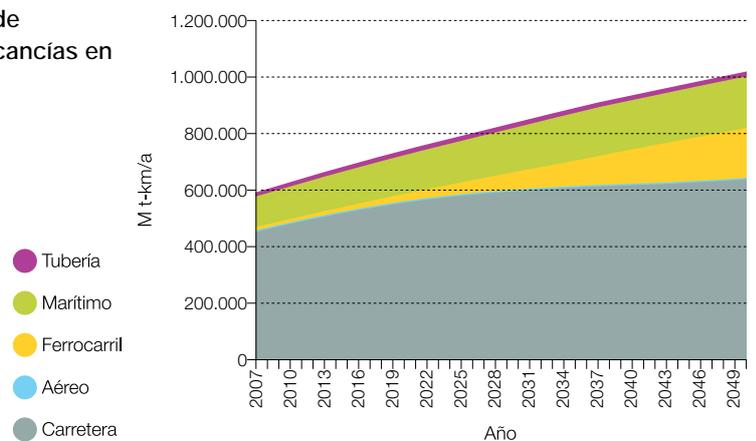


Figura 139 Estructura modal del escenario de demanda de movilidad interurbana de mercancías en el contexto E3.0.



5.4.3 Total

En este punto se recopilan los escenarios totales de demanda de energía para el sector transporte (movilidad de viajeros y mercancías) en los contextos BAU y tecnología E3.0.

Como muestra la figura 140, el contexto BAU conduce a un escenario tendencial con tasas de crecimiento prácticamente constantes a lo largo de todo el periodo analizado, lo que resulta en una demanda de energía final para los últimos años del periodo considerado por encima de los 1.000 TWh/a. Una conclusión evidente de esto es que resulta imprescindible trascender los planteamientos BAU y colocarse en la línea de los escenarios E3.0, para evitar llegar a demandas energéticas tan elevadas.

El cambio en escalón dentro del sector transporte que permite abandonar la senda actual de un consumo sectorial galopante para establecerse en el contexto E3.0, se apoya fundamentalmente en dos elementos: el despliegue de inteligencia (sistema de transporte inteligente), y la electrificación. En el contexto E3.0, a pesar de asumir demandas de movilidad sin una contracción importante, las medidas de eficiencia, la elección de las tecnologías apropiadas, y la puesta en marcha de mecanismos de organización y estructuración inteligentes permiten acceder a un escenario de contracción energética continua en todo el periodo considerado, que tiende hacia la estabilización al final del escenario, que llega a una demanda de energía final que es un 20 % de la del escenario BAU. Con todo, una demanda del orden de 200 TWh/a sigue siendo una cantidad importante de energía.

Figura 140 Escenarios de demanda de energía para la cobertura del total de la demanda de movilidad (viajeros y mercancías) en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.

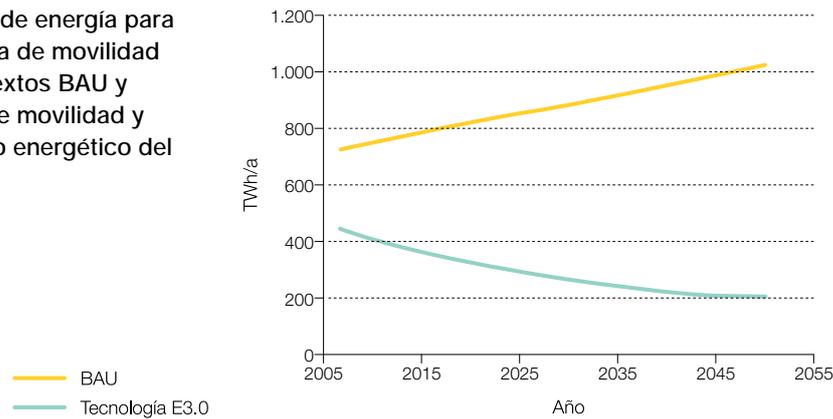


Figura 141 Escenarios de demanda de energía para la cobertura del total de la demanda de movilidad urbana (viajeros y mercancías) en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.

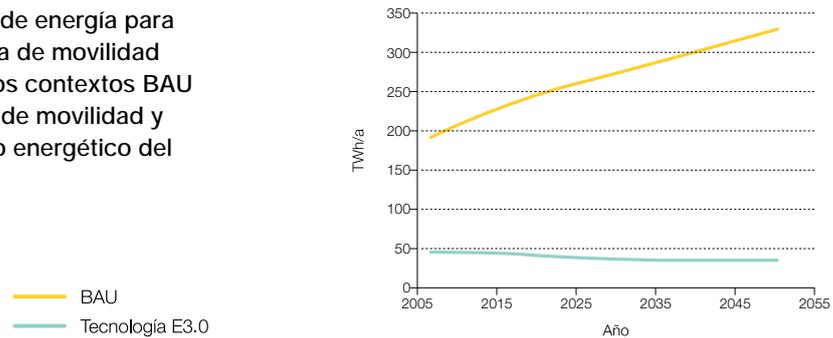
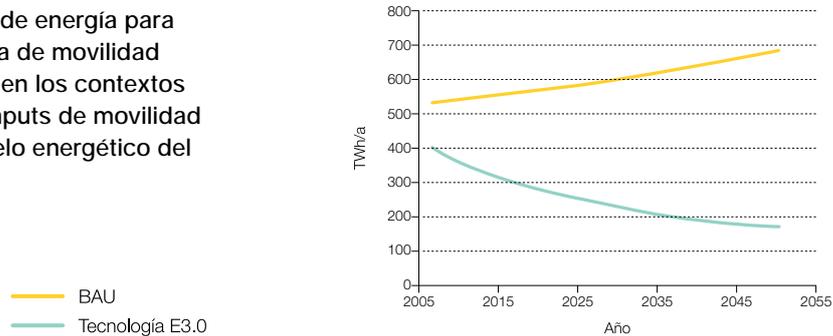


Figura 142 Escenarios de demanda de energía para la cobertura del total de la demanda de movilidad interurbana (viajeros y mercancías) en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



La desagregación de esta demanda total de energía del sector transporte entre los ámbitos urbano e interurbano muestra que, es especialmente en el ámbito interurbano, donde el contexto E3.0 permite acceder al escenario global de contracción mantenida.

En cuanto a la desagregación entre demanda eléctrica y demanda en forma de combustible, el contexto E3.0, con una electrificación que se incrementa del 2% al 39% (en

términos de energía final), domina en cuanto a demanda eléctrica, con un pico interior en torno al año 2018 que supera los 100 TWh/a (algo superior a la tercera parte de la demanda eléctrica actual sobre el sistema eléctrico), para posteriormente estabilizarse en valores del orden de los 80 TWh/a. Los escenarios de demanda de energía en forma de combustible para el caso BAU conducen a una demanda del orden de los 1.000 TWh/a hacia el final del escenario y sin ningún signo de estabilización; esta

demanda de combustibles en el contexto BAU es del orden del 350% de los biocombustibles que se podrían generar al explotar el máximo potencial de la biomasa en nuestro país. Para el contexto E3.0, la situación es considerablemente más favorable, a pesar de lo cual,

al final del escenario todavía se requeriría explotar más del 42% del máximo potencial de la biomasa en nuestro país. Esto recomienda evitar en la medida de lo posible el uso de la biomasa para cubrir la demanda energética de los otros sectores (edificación e industria).

Figura 143 Escenarios de demanda de energía eléctrica para la cobertura del total de la demanda de movilidad (viajeros y mercancías) en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.

— BAU
— Tecnología E3.0

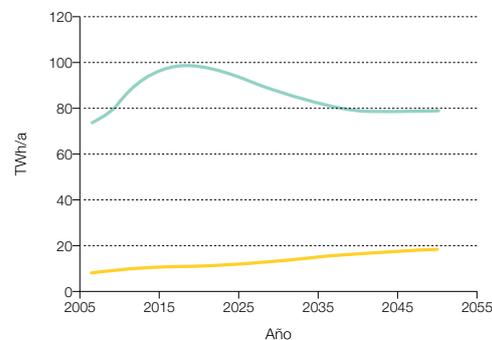
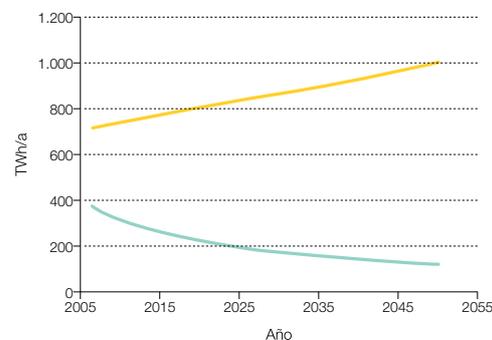


Figura 144 Escenarios de demanda de energía en forma de combustible para la cobertura del total de la demanda de movilidad (viajeros y mercancías) en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.

— BAU
— Tecnología E3.0



Por último, en las figuras 145 y 146 se muestra la desagregación por modos de los escenarios de demanda energética total (viajeros y mercancías) del sector transporte en los contextos BAU y tecnología E3.0.

En ambos contextos la demanda dominante es la debida al transporte por carretera, si bien en el contexto E3.0 se consigue contraer significativamente esta demanda, de tal forma que hacia el final del escenario, aunque sigue siendo la mayor demanda modal, ya es del mismo orden de magnitud que la correspondiente al modo aéreo. La gran contracción de la demanda energética del modo carretera experimentada en el contexto E3.0 es principalmente

debida a la transición tecnológica hacia la tracción eléctrica y a la implementación de un STI capaz de incrementar significativamente los CF de los vehículos utilizados.

El modo aéreo es el segundo en importancia en términos de demanda energética para ambos contextos. En el contexto E3.0 se consigue contraer gradualmente la demanda energética de este modo a lo largo del escenario, si bien su contracción es mucho más limitada que la alcanzada en el modo carretera, debido a la rigidez, tanto de la demanda de movilidad que cubre, como de la tecnología energética empleada (motor de combustión interna).

En el contexto E3.0, la demanda de energía final total del sector transporte es un 20% de la del escenario BAU.

Figura 145 Escenarios de desagregación modal de la demanda energética total (viajeros y mercancías) del sector transporte en el contexto BAU, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.

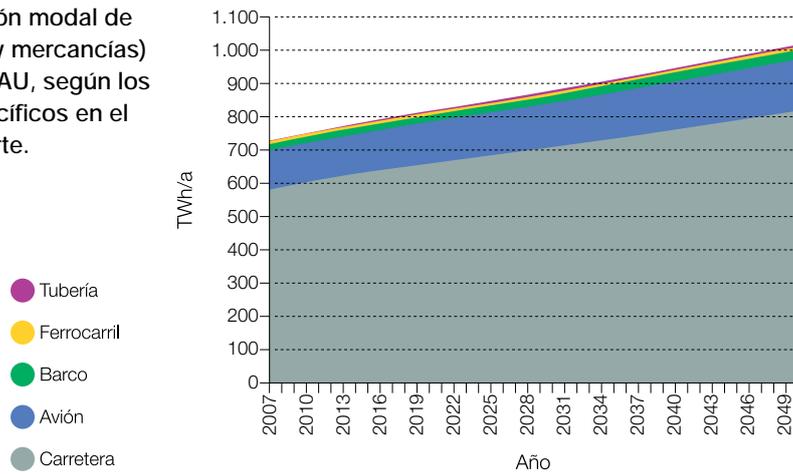
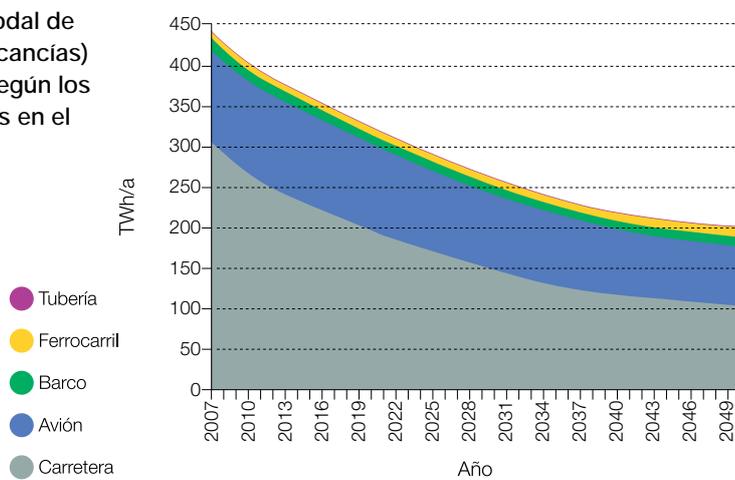


Figura 146 Escenarios de desagregación modal de la demanda energética total (viajeros y mercancías) del sector transporte en el contexto E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



5.5

Escenarios de transición

Como en los demás sectores, se consideran tres escenarios de transición al contexto E3.0:

- Un escenario que se denomina retardado, en el cual se sigue retrasando la adopción de medidas

efectivas de cambio en nuestro país durante otros 30 años.

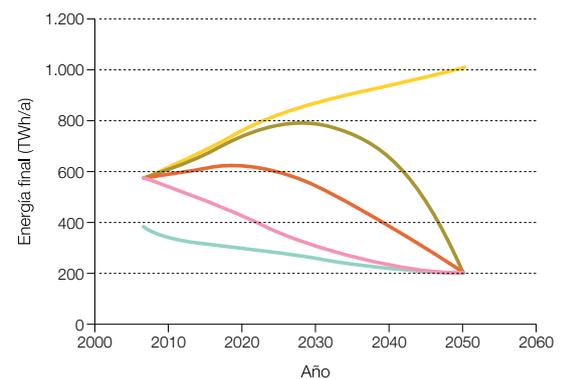
- Un escenario que se denomina lineal, en el cual se realiza una introducción progresiva del contexto E3.0 a tasas constantes a lo largo de todo el periodo de tiempo considerado.
- Un escenario que se denomina responsable, en el cual se acelera durante los primeros años la introducción

del contexto E3.0. A este escenario se le denomina responsable por ser el escenario más consecuente con los requerimientos del sistema climático de los tres analizados.

Tras realizar un proceso de calibrado de los datos obtenidos para cada escenario, con el fin tener en cuenta las discrepancias entre los datos procedentes de distintas fuentes, en especial los referidos a la internalización del déficit de la demanda de movilidad, se presentan

los resultados correspondientes al modelo calibrado para los escenarios de demanda de energía total, junto con los tres escenarios de transición considerados. Se observa que la tasa de reducción de la demanda que se requiere desplegar en los primeros años del escenario *responsable* es considerablemente inferior a la que tiene que afrontar el escenario *retardado* en los últimos años del periodo analizado: cuanto más se retrase el afrontar el problema de forma decidida, más difícil va a resultar resolverlo.

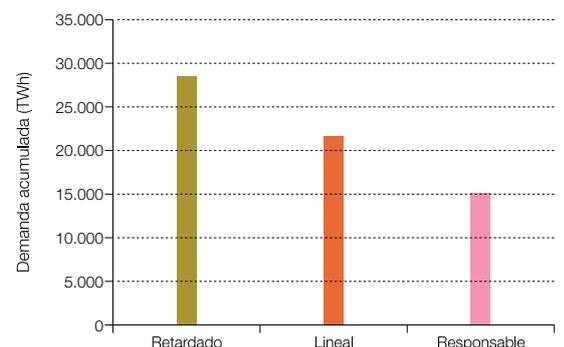
Figura 147 Escenarios de demanda de energía del sector transporte (viajeros y mercancías) asociados a los distintos escenarios de introducción del contexto E3.0. Resultados con corrección por calibrado.



Por último, se muestra el efecto acumulado de cada uno de los escenarios sobre la demanda de energía del sector transporte. Si se toma como referencia la demanda acumulada del escenario *retardado*, el escenario *responsable* conduce a una demanda acumulada del 54,7%, mientras que el escenario *lineal* conduce a una demanda acumulada de 76,8%. En términos de demanda anual media para el sector transporte, en el

escenario *retardado* es de entre 654 TWh/a, en el *lineal* de 496 TWh/a y en el *responsable* de 349 TWh/a, lo cual cabe comparar con las demandas anuales medias de los contextos BAU y E3.0, que resultan ser de 869 TWh/a y 285 TWh/a respectivamente. Por tanto, se concluye que el potencial de ahorro energético asociado a un despliegue responsable del contexto E3.0 es muy elevado.

Figura 148 Demanda total de energía acumulada a lo largo del escenario para el sector transporte (viajeros y mercancías) con los distintos escenarios de introducción del contexto E3.0: caso calibrado.





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.

©MARKEL REDONDO / GREENPEACE

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.

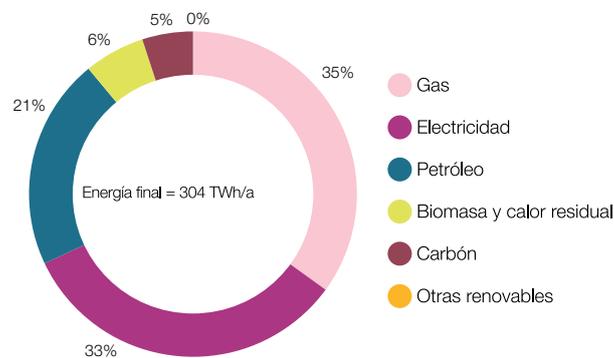
6.1

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).

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.



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.

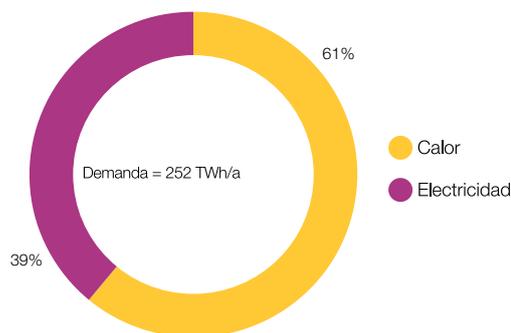
6.2.1 Motores y procesos industriales inteligentes

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 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.

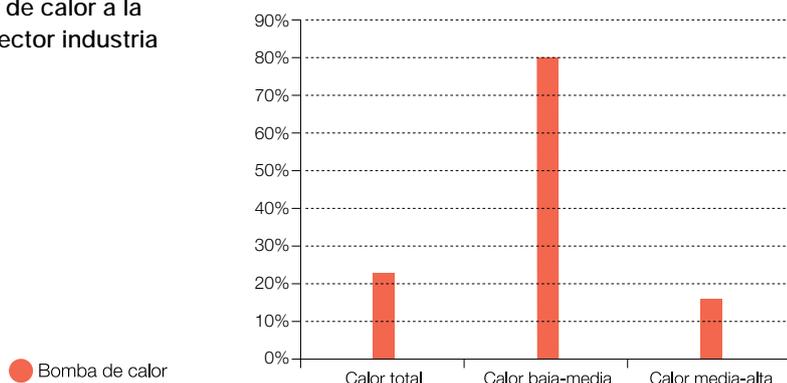
Por último, la electrificación de la demanda térmica del sector industrial permite que dicho sector tenga un mayor potencial de participación en la gestión de la demanda, y por tanto en la regulación del sistema de generación.

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 efuente 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

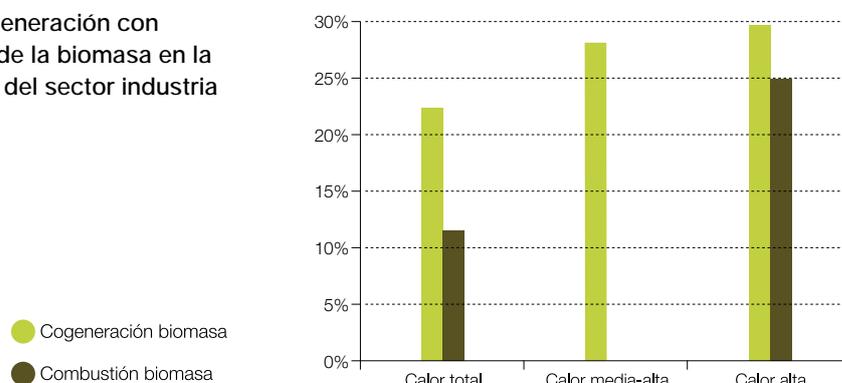
eléctrica del sector y por otro lado apoyan en la cobertura de la demanda térmica, como para aplicaciones por combustión directa en el rango de mayor temperatura de la demanda de calor. La ventaja de las aplicaciones por combustión directa es que requieren menos de la mitad de biomasa para cubrir la 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

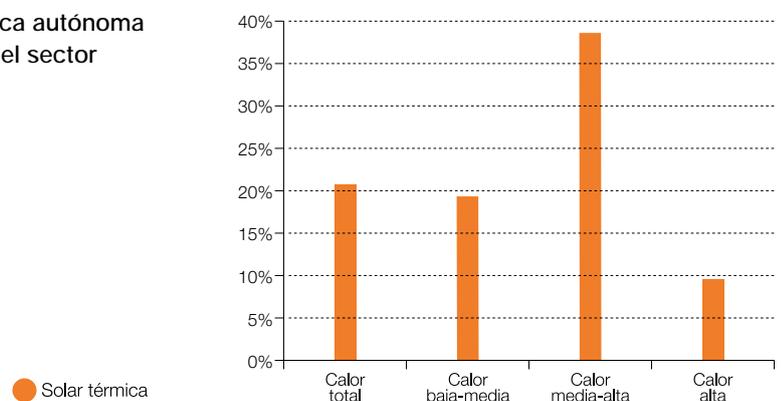
solo con la competencia del uso por efecto Joule de la electricidad residual asociada a la regulación del sistema eléctrico. El uso de electricidad residual resulta prioritario a la solar térmica por sus menores costes, pero debido a su COP = 1 tiene capacidad de cubrir una menor fracción de la demanda.

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.

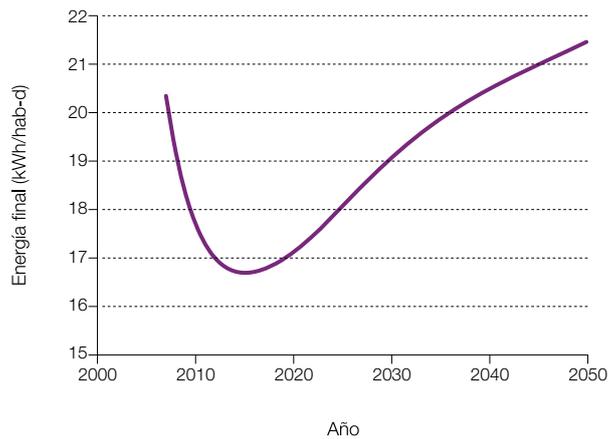
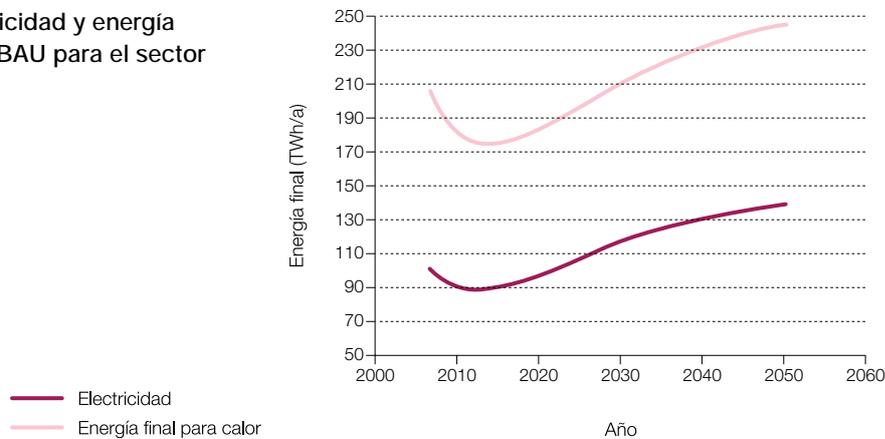


Figura 155 Reparto entre electricidad y energía final para calor en el contexto BAU para el sector industrial.



6.4

Escenario de eficiencia

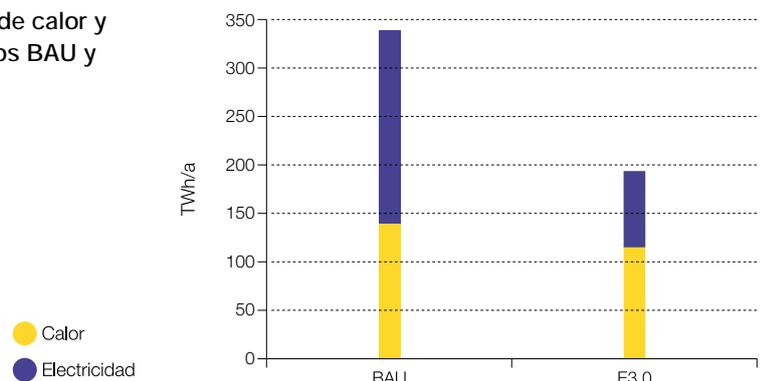
Para el escenario E3.0 se parte de la demanda de energía final en el contexto BAU para el año 2050 y su descomposición entre electricidad y calor, y se le aplica las medidas de eficiencia anteriormente comentadas para determinar la demanda final y su estructura en el contexto E3.0 en el año 2050.

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.

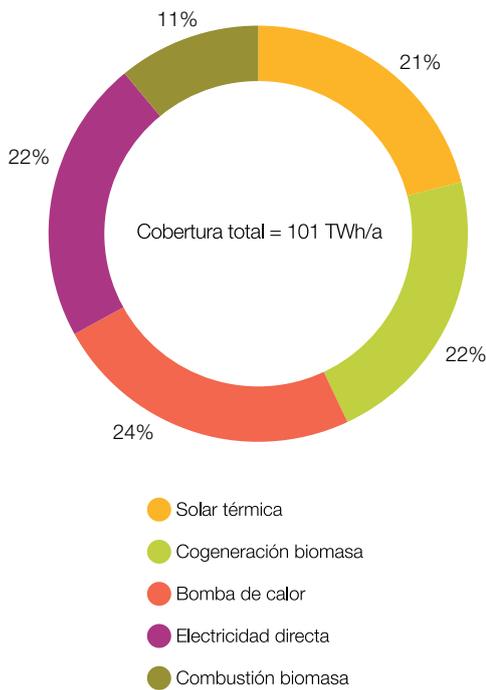


Figura 159 Contribución de las distintas tecnologías a la cobertura de la demanda térmica de media-alta temperatura del sector industria en el contexto E3.0.

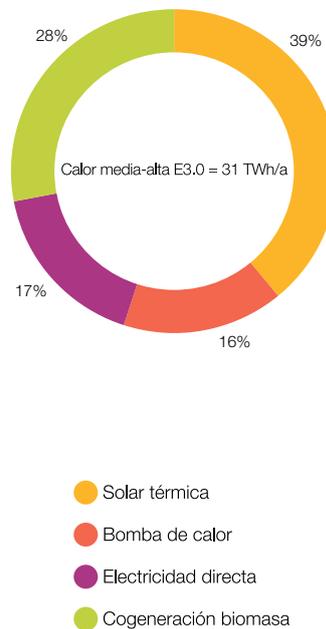


Figura 158 Contribución de las distintas tecnologías a la cobertura de la demanda térmica de baja-media temperatura del sector industria en el contexto E3.0.

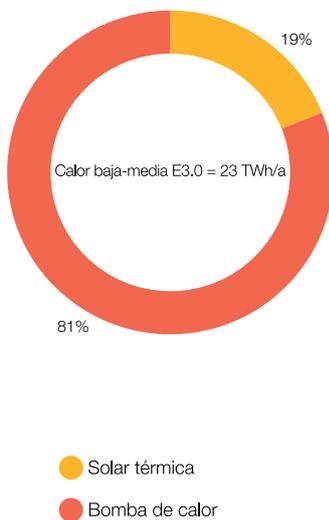
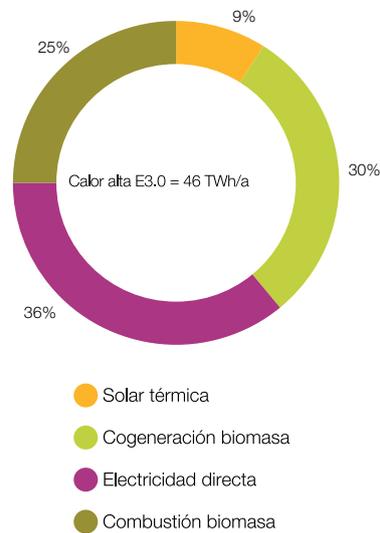


Figura 160 Contribución de las distintas tecnologías a la cobertura de la demanda térmica de alta temperatura del sector industria en el contexto E3.0.

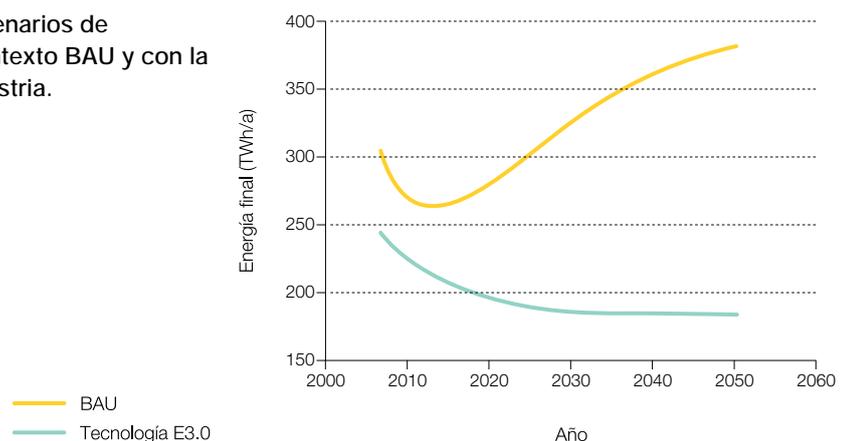


La gran diversidad de niveles térmicos de la demanda, la imposibilidad de cubrirlos todos ellos con bombas de calor, y los elevados niveles de eficiencia e inteligencia desplegados en los demás sectores para el contexto E3.0 (que conducen a una limitación del requerimiento de potencia eléctrica instalada 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

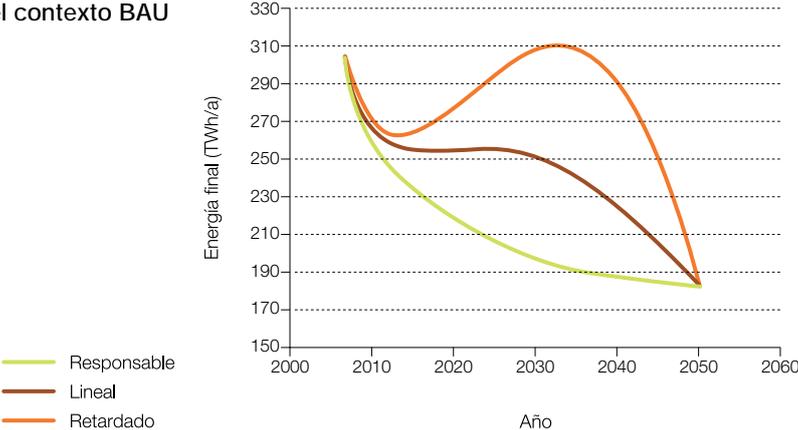
la transición desde el contexto BAU al E3.0 puede seguir distintas trayectorias según la evolución de los sistemas político, económico y social. En línea con los otros sectores, en la figura 162 se muestran los escenarios de transición resultantes de la aplicación de las tasas retardada, lineal o responsable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

Es de resaltar el acusado pico interior³² 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.

³² 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





Grupo de aerogeneradores y torres de luz en el parque eólico de La Veleta, en Monasterio de Rodilla (Burgos).

©PEDRO ARMESTRE

Escenarios de demanda de otros sectores

Una vez analizados los principales sectores consumidores de energía (edificación, transporte e industria), se desarrollan brevemente otros sectores (primario, servicios públicos y usos no energéticos), con el fin de completar los escenarios de demanda energética.

7.1

Sector primario

Este estudio se refiere al consumo de energía en todos los sectores, por ello no se contabilizan las emisiones directas no energéticas de gases de efecto invernadero, que en el caso del sector primario (agricultura y pesca) tienen unas implicaciones sobre el cambio climático 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 recursos de biomasa, pues en gran parte está formado por combustible para la maquinaria agrícola y la flota pesquera.

Para el desarrollo del escenario E3.0 se parte de un escenario BAU para el año 2050, sobre el que se aplican, tan solo en una primera aproximación conservadora,

las siguientes medidas adicionales de eficiencia (en los porcentajes indicados):

- Maquinaria agrícola: reducción de laboreos no productivos (5 %), mejora de eficiencia de tractores operados con combustible (10 %), electrificación de un 20 % de la maquinaria agrícola.
- Regadío: mejora de bombeo y redes (5 %), riego inteligente (20 %).
- Invernaderos: ingeniería bioclimática (50 %), mejora de eficiencia de sistemas de climatización (30 %).
- Ganadería: ingeniería bioclimática (40 %), mejora de eficiencia de sistemas de climatización (30 %³³), reducción del consumo de carne (30 %).
- Pesca: mejora de eficiencia de propulsión (10 %), mejora de los motores de combustión interna (20 %), electrificación de un 20 % de la flota.

En las figuras 163, 164 y 165 se recoge, respectivamente, el modo en que las medidas anteriores contribuyen al ahorro total de energía en este sector, la evolución del consumo de energía final del sector primario en los contextos BAU y con la tecnología E3.0, y los distintos escenarios de transición.

³³ Reducción del consumo de energía de operación para producir los alimentos.

Los hábitos y actitudes individuales, en lo relativo a la alimentación, pueden tener gran impacto sobre la demanda de recursos, y en particular de energía.

Figura 163 Efecto agregado de las medidas de eficiencia en cada uno de los subsectores del sector primario sobre el ahorro total obtenido para el contexto E3.0.

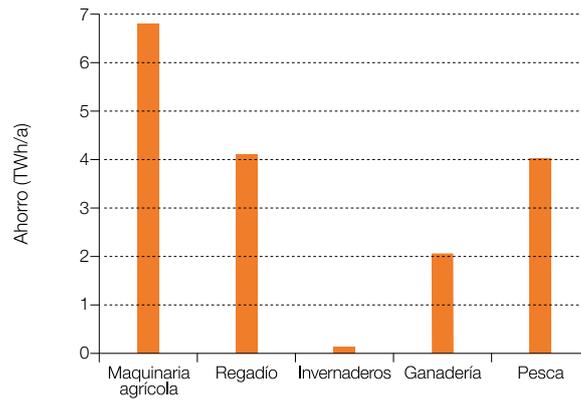


Figura 164 Escenarios BAU y de tecnología E3.0 para el sector primario.

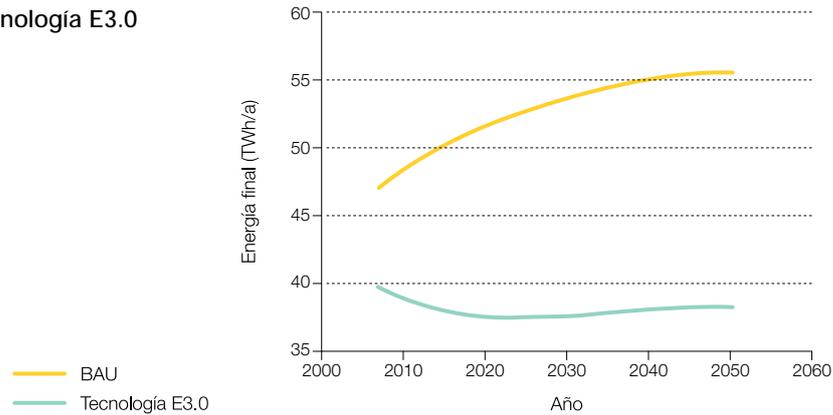
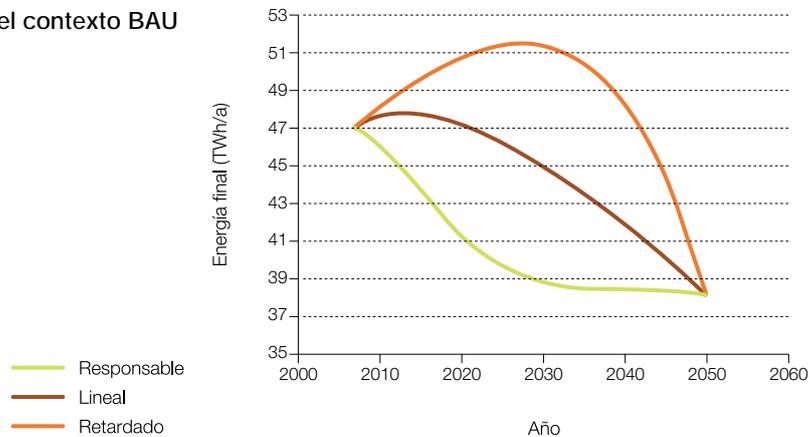


Figura 165 Escenarios de transición del contexto BAU al E3.0 para el sector primario.



Energía y alimentación

Los datos anteriores son los que se utilizan para los escenarios de demanda energética, objeto de este estudio. No obstante, no se debe olvidar que el sector primario involucra unos flujos energéticos considerablemente superiores debido, por un lado,

a la biomasa alimenticia que maneja y que no aparece contabilizada en los balances energéticos del sector primario, y por otro lado, a sus interacciones con otros sectores. Por ello es útil evaluar las implicaciones energéticas de la forma de alimentarse, según distintos tipos de dieta y de forma de suministro de los alimentos, tanto por persona como en términos absolutos:

Figura 166 Implicaciones en términos del consumo de energía total de distintos hábitos alimenticios en términos de consumo diario per cápita.

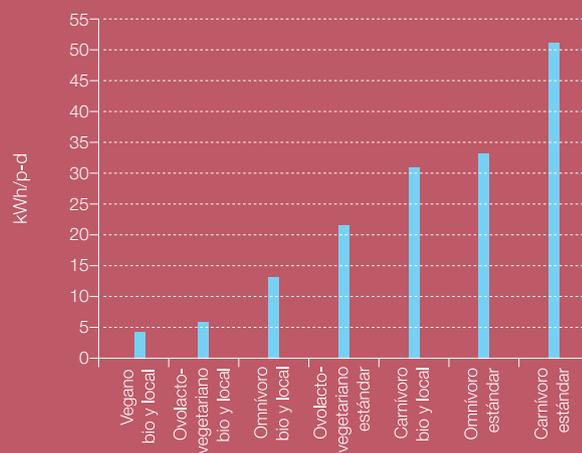
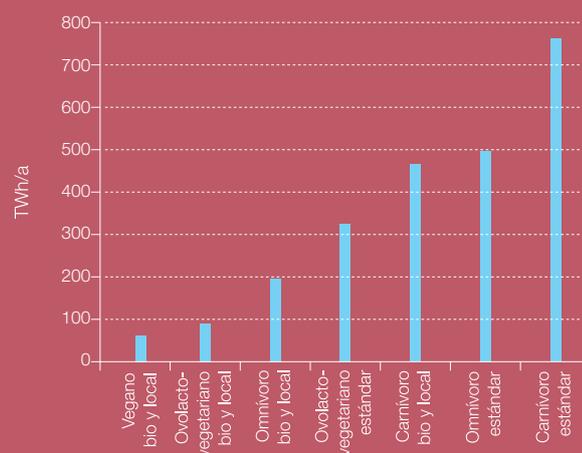


Figura 167 Implicaciones en términos del consumo de energía total de distintos hábitos alimenticios en términos del consumo anual total correspondiente a la población peninsular en el año 2007.



Como se puede ver, los atributos 'bio' y 'local' pueden tener un efecto energético del orden de la magnitud del asociado al tipo de dieta. Si se tiene en cuenta que el consumo total de energía final en España, según la AIE para el año 2007, es de 1.193 TWh/a, y que el techo del

recurso de biomasa energética en la España peninsular asciende a 426 TWh/a, se concluye el gran impacto que los hábitos y actitudes individuales, en lo relativo a la alimentación, pueden tener sobre la demanda de recursos, y en particular de energía.

7.2

Servicios públicos

Este sector se encuentra dominado por el alumbrado público y por los consumos de bombeo y aireación asociados al suministro y depuración de aguas. A partir de un escenario BAU, el escenario E3.0 se construye añadiendo las siguientes medidas de eficiencia:

- Lámparas: incremento de eficacia luminica a 200 lm/W.
- Luminarias: mejora de su rendimiento, acoplado al de la envolvente de las superficies iluminadas para reducir la contaminación luminica.
- Controles inteligentes de iluminación: variación dinámica del nivel de iluminancia con las necesidades reales y con discretización espacial.

- Bombeo: reducción de caída de presión por reducción del consumo de agua (debido al incremento de la eficiencia en uso y distribución, así como al aprovechamiento de aguas pluviales y grises reutilizadas), velocidad variable y motores inteligentes.
- Depuración: motores más eficientes, regulación inteligente, reducción del volumen de aguas residuales por separación de aguas grises.
- Semáforos: mejora LEDs respecto a actuales.
- Potabilización: mejora de bombeos, reducción del consumo de agua por incremento de eficiencia de uso y distribución.

Figura 168 Evolución del consumo de energía en los contextos BAU y con la tecnología E3.0.

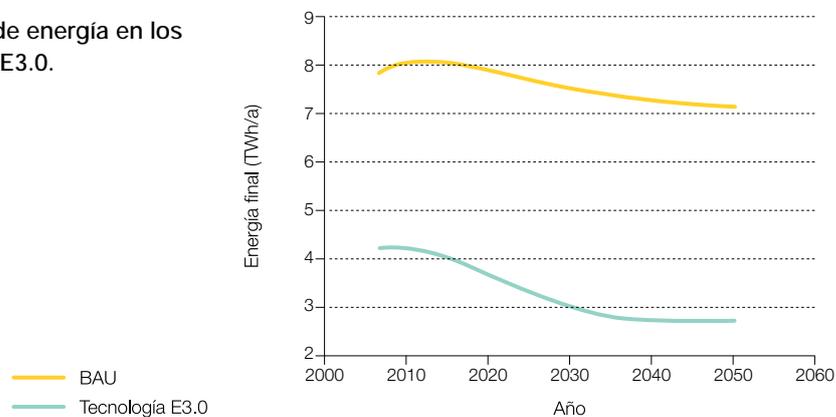
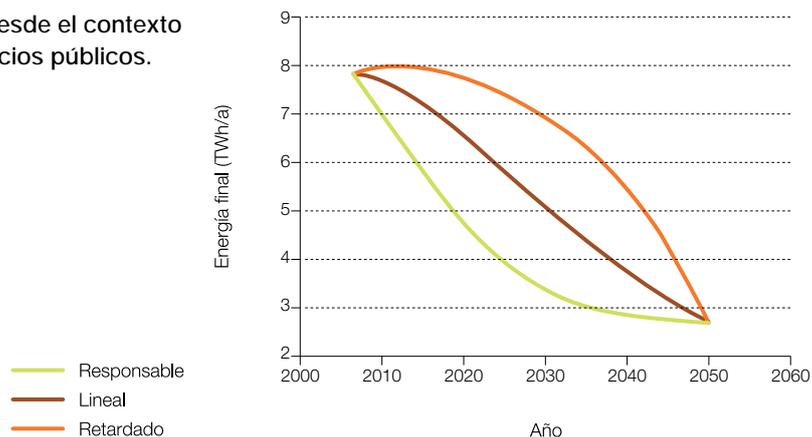


Figura 169 Escenarios de transición desde el contexto BAU al contexto E3.0 del sector servicios públicos.



7.3

Usos no energéticos

Los usos no energéticos son las aplicaciones de combustibles fósiles como materia prima para elaborar otros productos, sin que del proceso se obtenga energía. Se encuentran fuertemente dominados por las materias primas para la industria petroquímica; la producción de productos plásticos y otros productos químicos emplea como materia prima una cierta cantidad de combustibles fósiles, que son los recogidos en esta categoría, y que por orden de importancia serían productos petrolíferos, gas natural y carbón. Adicionalmente, la producción de estos productos requiere de un consumo de energía, que en la actualidad está también asociado a un consumo

adicional de combustibles fósiles, cuyo monto aparece contabilizado dentro del sector industria.

El sector de usos no energéticos se considera en este estudio desde el punto de vista de su total dependencia actual de los combustibles fósiles, para disponer de una estimación de cuáles serían sus requerimientos de biomasa, si fuera necesario producir biomateriales para sustituir las materias primas fósiles.

De cara al contexto E3.0 se considera una reducción de la demanda de este sector de un 20% en el año 2050, por la mejora de procesos de producción y por la desmaterialización de la economía. Las figuras 170 y 171 muestran los escenarios BAU y de tecnología E3.0 resultantes, así como tres posibles escenarios de transición del contexto BAU al E3.0.

Figura 170 Escenarios del contexto BAU y el de tecnología E3.0 para el sector de usos no energéticos.

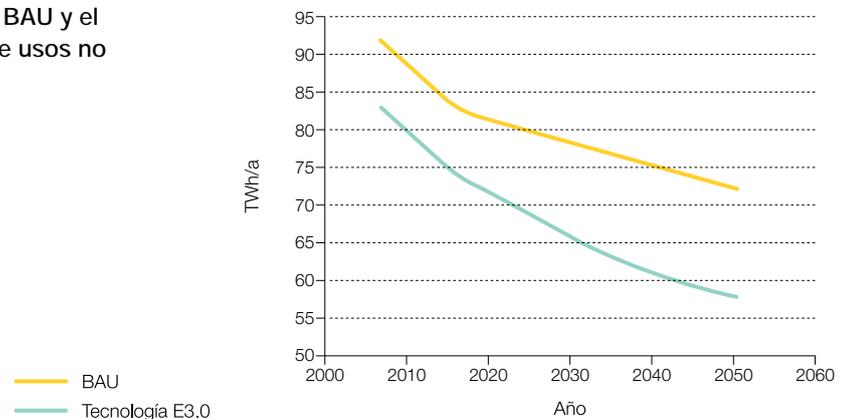
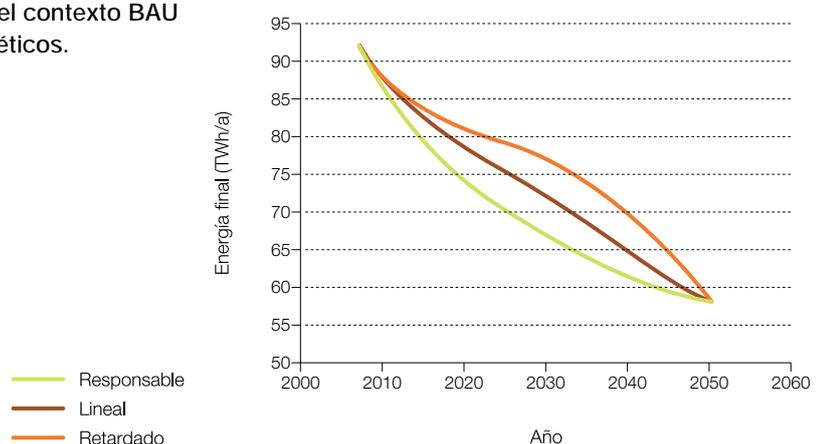


Figura 171 Escenarios de transición del contexto BAU al E3.0 en el sector de usos no energéticos.





Detalle de equipos informáticos mientras están en uso.

©PEDRO ARMESTRE

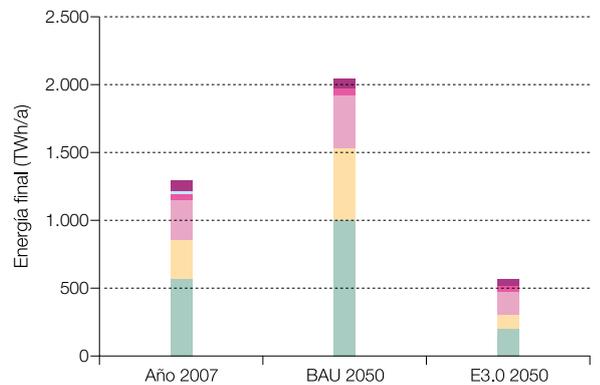
Escenarios de demanda energética total

Finalmente se presentan agrupados todos los escenarios anteriormente desarrollados para obtener la visión global del conjunto del sector energético por lo que respecta a

la evolución de su consumo de energía en los contextos BAU y E3.0. Las gráficas muestran, respectivamente, el reparto sectorial y por tipos de energía final.

Figura 172 Desglose sectorial del consumo de energía final en el año 2007 y en 2050 con los contextos BAU y E3.0.³⁴

- Usos no energéticos
- Servicios públicos
- Primario
- Industria
- Edificación
- Transporte

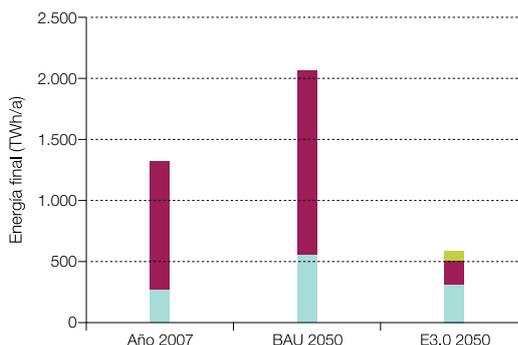


³⁴ Por lo que respecta al sector transporte es preciso recordar que los resultados presentados reproducen consumos superiores a los que aparecen en los balances habituales, al incorporar la mitad de la repercusión asociada al transporte internacional.

El gran potencial de las medidas de eficiencia energética reduciría el consumo en el año 2050 a un 45 % del registrado en el año 2007, y a un 28 % del que proporcionaría un escenario BAU.

Figura 173 Consumo total de energía final y desglose por tipo de energía final.

La biomasa indicada en el contexto E3.0 corresponde al uso ya comprometido para el sector industria. Los combustibles en el contexto BAU son mayoritariamente fósiles, y en el E3.0 son combustibles procedentes de la biomasa o bien hidrógeno de origen renovable.



De estos resultados, lo primero que se puede concluir es el gran potencial de las medidas de eficiencia energética, que reduciría el consumo en el año 2050 a un 45% del registrado en el año 2007, y un 28% del que proporcionaría un escenario BAU.

Pero además, hay que destacar que el contexto BAU conduciría en 2050 a un consumo del 157% del registrado en el año 2007. El incremento en la demanda de combustibles sería de un 146% y en la electricidad de un 199%. Esta situación es totalmente insostenible, ya que:

- En cuanto a la demanda de combustibles, supondría un significativo incremento de emisiones de gases de efecto invernadero. Además, para esas fechas probablemente no estén disponibles a precios razonables los recursos de combustibles fósiles para cubrir esa demanda, con el agravante de una incertidumbre significativa por la dificultad de pronosticar los precios de los combustibles fósiles³⁵. Si como alternativa se plantease la posibilidad de cubrir esa demanda mediante biomasa, los requerimientos de biomasa en relación al potencial disponible en nuestro país evaluado en el estudio *Renovables 2050* (Greenpeace, 2005), serían del 532%.
- En cuanto a la demanda de electricidad se requeriría prácticamente doblar la capacidad de generación y transporte actual. Si bien disponemos de recurso

renovable más que suficiente para cubrir esta demanda, esta gran cantidad de infraestructuras eléctricas conducirían a un impacto ambiental y a un coste económico, que es posible evitar mediante la aplicación de las medidas de eficiencia del contexto E3.0.

Por lo que respecta al contexto E3.0, la demanda eléctrica finalmente resultante, a pesar de la gran electrificación que conlleva este contexto³⁶, es tan solo de un 114% del valor de la demanda eléctrica actual, por lo que prácticamente podría servir la infraestructura de transporte y distribución actual. Si se compara el consumo eléctrico en el año 2050, para el contexto E3.0 se tiene un consumo que es un 57% del asociado al contexto BAU.

Y en cuanto a la demanda de combustibles, la gran reducción que se logra en el contexto E3.0 permitiría plantearse su cobertura incluso con el limitado recurso de biomasa del que se dispone en nuestro país. No obstante, existen dos posibilidades para producir estos combustibles a partir de energías renovables: biocombustibles procedentes de la biomasa e hidrógeno procedente de electricidad de origen renovable. Analizando ambas opciones se extraen las siguientes conclusiones:

- Si se optara por cubrir el total de la demanda de combustibles con biocombustibles producidos a

³⁵ El incremento en el coste de la factura energética sería del 136% al 1.050%, según la tasa de inflación anual media de la energía procedente de combustibles fósiles.

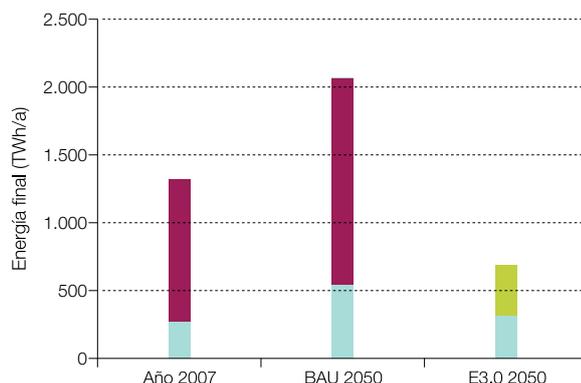
³⁶ La electrificación directa (sin tener en cuenta la indirecta asociada a la producción de hidrógeno) del sistema energético crecería ligeramente en el contexto BAU, y pasaría de un 21% en el año 2007 a ser del 26% en el año 2050, mientras que experimentaría un incremento mucho más importante en el contexto E3.0, pasando a ser del 61% para el año 2050.

partir de biomasa, el requerimiento total de biomasa ascendería a 372 TWh/a, que constituye un 87% del total del recurso de biomasa disponible, algo que parece totalmente desproporcionado en relación a la disponibilidad de los distintos recursos renovables, puesto que el consumo de electricidad obtenido para el contexto E3.0 constituye solo un 2% del potencial de generación de electricidad a partir de todas las tecnologías renovables. Hay que recordar también que

el uso de biomasa ya comprometido en el contexto E3.0, para el sector industria y para el sector de usos no energéticos, ya exige el uso de 156 TWh/a de biomasa. Todo esto confirma la conclusión del estudio *Renovables 2050* (Greenpeace, 2005) de que la biomasa en España constituye un recurso escaso en relación con sus usos potenciales y, por tanto, que es preciso reservarlo para aquellos usos que no puedan ser cubiertos con otras tecnologías renovables.

Figura 174 Consumo de energía si para el contexto E3.0 empleamos biomasa para producir los biocombustibles necesarios para cubrir la demanda de combustibles. Los combustibles en el contexto BAU son mayoritariamente fósiles.

● Biomasa
● Combustibles
● Electricidad

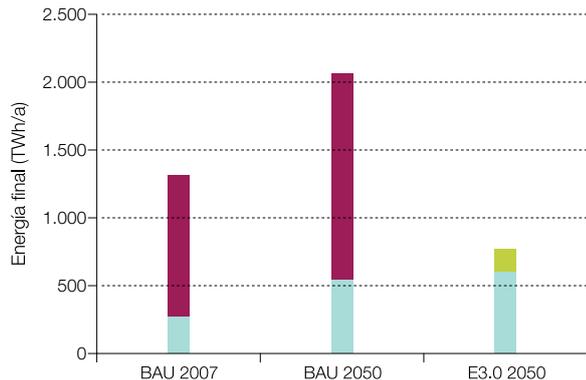


- Si se opta por el caso extremo de emplear hidrógeno, producido a partir de electricidad generada con otras fuentes renovables, para cubrir el total de la demanda de combustibles (excepto la cantidad de biomasa ya asignada al sector industria y la demanda del sector de usos no energéticos, que cubrimos con biocombustibles), entonces la demanda de electricidad asciende a un 3,9% del

recurso de electricidad renovable. Sin embargo, en estas condiciones el consumo de electricidad pasa a ser un 222% del existente en el año 2007, por lo que la implementación de esta estrategia exigiría incrementar significativamente la infraestructura de generación eléctrica y la infraestructura de transporte y distribución, o bien eléctrica o bien de hidrógeno, con sus potenciales impactos ambientales.

Figura 175 Consumo de energía si para el contexto E3.0 empleamos hidrógeno para cubrir la demanda de combustibles fuera del sector industria. La biomasa indicada en el contexto E3.0 corresponde al uso ya comprometido para el sector industria, más la requerida para generar los biocombustibles que puedan cubrir la demanda del sector de usos no energéticos. Los combustibles en el contexto BAU son mayoritariamente fósiles.

● Biomasa
● Combustibles
● Electricidad

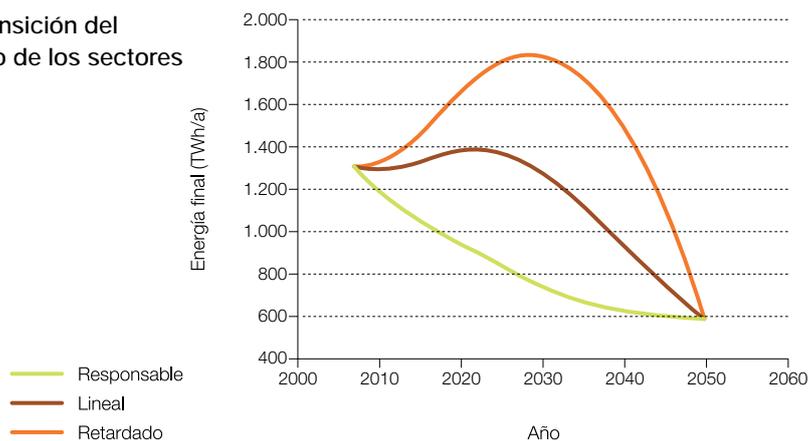


- Por ello, se recomienda una aproximación mixta en la que se establezca un objetivo en relación al potencial de biomasa a explotar para la cobertura de la demanda de combustibles, y que el resto se cubra vía hidrógeno, con una estrategia tal que se minimice el requerimiento de expansión del sistema de transporte y distribución eléctrica, teniendo en cuenta que la biomasa requiere el uso de una superficie muy superior, aunque su rendimiento para la producción de biocombustibles es superior al de producción de

hidrógeno con electricidad. Una primera aproximación podría estar basada en el siguiente criterio: emplear la misma extensión del territorio peninsular para producir combustibles con la biomasa que la que se dedique a producir hidrógeno para ser empleado como combustible.

Finalmente, se presentan los tres escenarios de transición considerados en este informe, referidos al consumo de energía total:

Figura 176 Distintos escenarios de transición del contexto BAU al E3.0 para el conjunto de los sectores energéticos.



Como se ve en la gráfica de la figura 176, el escenario retardado produce un gran pico interior del consumo en torno al año 2030 que obligaría a un gran sobredimensionado de las infraestructuras energéticas respecto a las necesidades existentes una vez completada la transición. Esto podría introducir resistencia a completar la transición hacia el contexto

E3.0 con el argumento de necesitar amortizar las inversiones realizadas, situación que ya se vive en España en la actualidad. Además, el escenario retardado exigiría unas tasas de reducción de consumo muy elevadas durante los últimos 20 años del escenario temporal considerado, por lo que esta opción resultaría con diferencia la más cara.



Fachada del Hotel Melià Castilla
(Madrid).

© JOSÉ LUIS ROCA



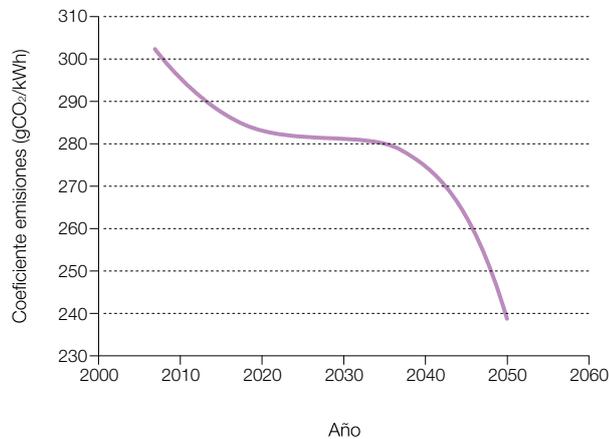
Un avión despegando en el Aeropuerto de Barajas (Madrid). Al fondo se encuentra la torre de control.

Escenarios de emisiones

La traducción en emisiones del escenario BAU (el escenario E3.0 tiene emisiones nulas) supone que las emisiones BAU en 2050 para el conjunto del sistema energético peninsular ascenderían a 493 MtCO₂/a, con

un coeficiente de emisiones total de 239 gCO₂/kWh, inferior al coeficiente de emisiones del año 2007 (302 gCO₂/kWh), siguiendo la siguiente trayectoria:

Figura 177 Escenario de evolución del coeficiente de emisiones total del sistema energético en el contexto BAU.

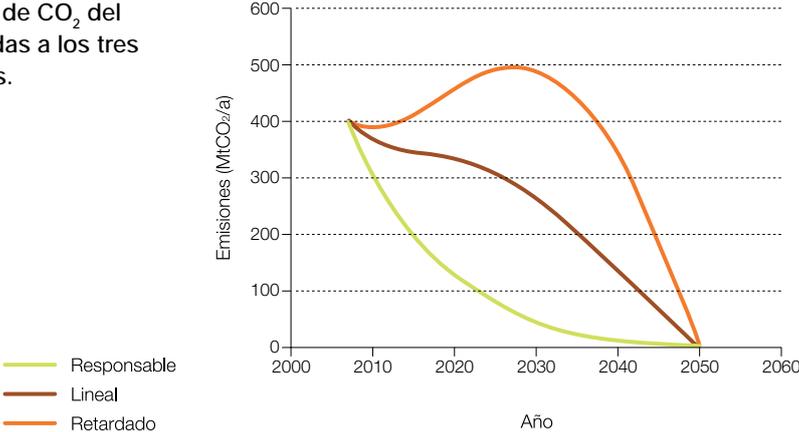


Finalmente, a continuación se muestra la evolución de las emisiones asociadas al sistema energético peninsular en los tres escenarios de transición considerados desde el contexto BAU al E3.0. Se concluye que la transición al

contexto E3.0 resulta incluso más beneficiosa desde el punto de vista de las emisiones de lo que ya resultaba en términos de energía, gracias al coeficiente de emisiones nulo de la tecnología E3.0.

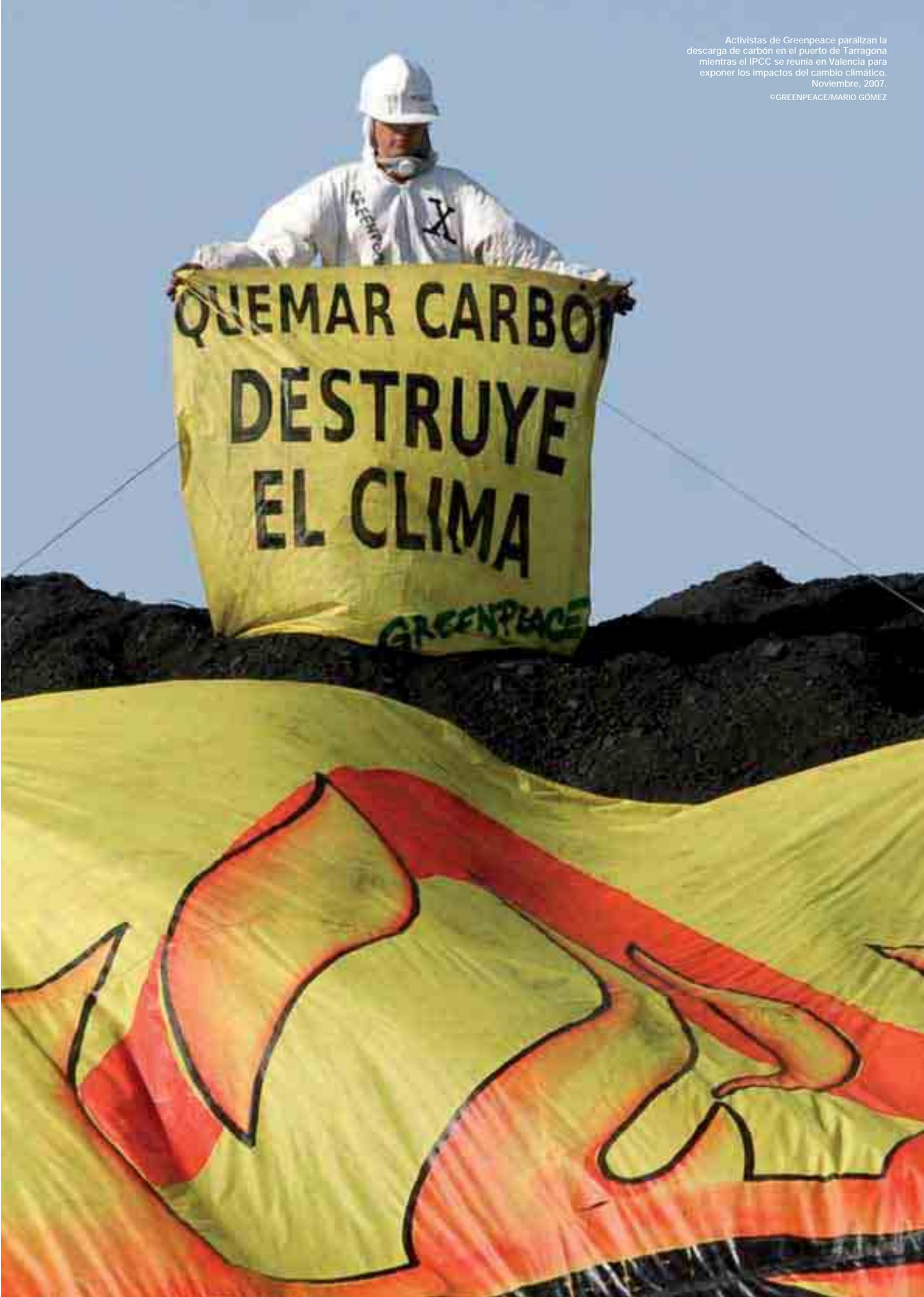
La transición al contexto E3.0 resulta incluso más beneficiosa desde el punto de vista de las emisiones de lo que ya resultaba en términos de energía, gracias al coeficiente de emisiones nulo de la tecnología E3.0.

Figura 178 Evolución de las emisiones de CO₂ del sistema energético peninsular asociadas a los tres escenarios de transición considerados.



Activistas de Greenpeace paralizan la
descarga de carbón en el puerto de Tarragona
mientras el IPCC se reunía en Valencia para
exponer los impactos del cambio climático.
Noviembre, 2007.

©GREENPEACE/MARIO GÓMEZ





La lámpara de mesa Sunnan de Ikea no consume electricidad. Incluye un panel solar extraíble cuyo tiempo de recarga es de nueve a doce horas en un día de sol. A plena carga de batería emite luz a toda potencia durante tres horas aproximadamente.

©IKEA

Escenarios de costes

10.1

Introducción

En este capítulo se recopilan y desarrollan escenarios de costes de los distintos componentes del sistema energético, tanto en el contexto BAU como en el E3.0. Los criterios seguidos han sido:

- Los indicadores principales son el coste absoluto total del suministro de energía y el coste específico total por unidad de energía final suministrada.
- Se expresan todos los costes de las distintas formas de energía en las mismas unidades (c€/kWh), presentados siempre en términos de euros constantes del año 2007.
- En la medida de lo posible se incorpora en los escenarios de costes una valoración de las externalidades.

Se ha optado por desarrollar escenarios de costes propios en vez de basarse en los de otras referencias publicadas, ya que es muy habitual encontrar escenarios de costes, especialmente de los combustibles fósiles, que de forma consistente pronostican costes inferiores a los que luego se encuentran en la experiencia cotidiana, ya que se suele minusvalorar el efecto del incremento de costes de estos recursos escasos y limitados al verse sometidos a una demanda fuertemente creciente. Es, por tanto, bastante habitual asistir de un año a otro a modificaciones al alza de estos escenarios de costes

conservadores. De modo que en este estudio se ha seguido un planteamiento más realista, teniendo en cuenta que si se sigue en un contexto BAU en el que el conjunto del planeta reproduzca las trayectorias de consumo seguidas por los países desarrollados, el resultado esperable será enfrentarse a costes cada vez mayores (tasas crecientes de inflación de esos recursos limitados y escasos). Aun así se ha adoptado un enfoque bastante conservador en el que se han limitado esas tasas de inflación al asumir como hipótesis implícita que, incluso en el contexto BAU, parte del planeta evolucionará hacia el contexto E3.0.³⁷

Los costes correspondientes a las energías renovables empleados en este estudio son los que se desarrollaron en el estudio *Renovables 100%* (Greenpeace, 2007), pasando el inicio del periodo de análisis de 2003 a 2007 y adaptando los valores a €-2007.

10.2

Costes de emisiones de CO₂

Los escenarios del precio del CO₂ que se han adoptado se elaboran teniendo en cuenta tres elementos:

- Los costes tenderán a incrementarse con el tiempo, a medida que los requerimientos de reducción de emisiones se hagan más estrictos.
- Todos los sectores responsables de emisiones tendrán que incorporarse al mercado de emisiones o adoptar

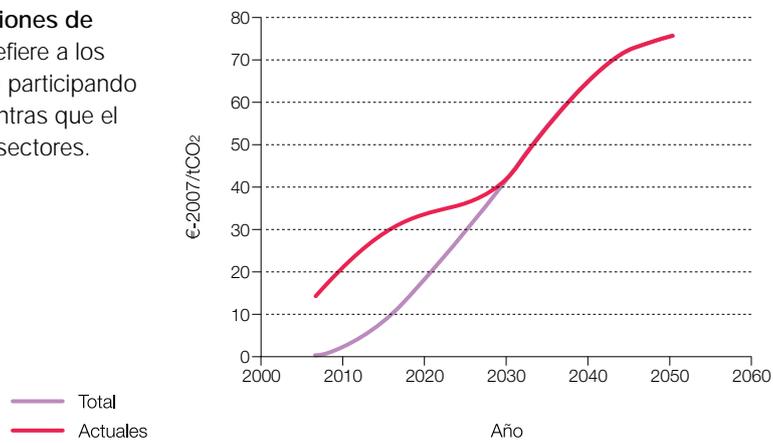
³⁷ La forma de evitar tasas de inflación mayores es limitando la demanda, y parece más realista que esto se logre evolucionando hacia un uso más eficiente, al menos en algunos países, que manteniendo los actuales niveles de consumo en unos países mientras una gran parte del planeta sigue privada del acceso a esos recursos energéticos.

En este estudio se ha seguido un planteamiento realista, teniendo en cuenta que si se sigue en un contexto BAU en el que el conjunto del planeta reproduzca las trayectorias de consumo seguidas por los países desarrollados, el resultado esperable será enfrentarse a costes cada vez mayores.

otros mecanismos (tasas o impuestos) para que paguen por el CO₂ emitido.

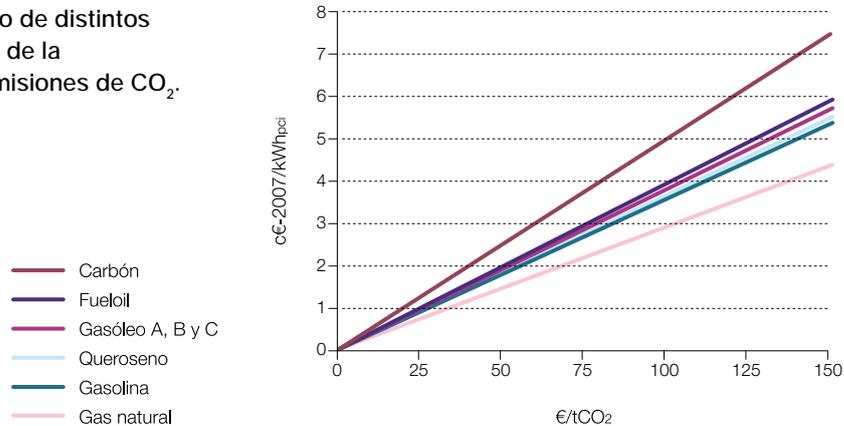
- Cabe esperar que los precios del CO₂ en el mercado se encuentren por debajo de los costes de la internalización real del impacto de las emisiones de CO₂.

Figura 179 Escenarios de costes de emisiones de CO₂. El escenario denominado 'actual' se refiere a los sectores que actualmente ya se encuentran participando en los mercados de emisiones de CO₂, mientras que el 'total' se refiere al promedio con el total de sectores.



En la figura 180 se muestra el efecto del precio del CO₂ en el sobrecoste de distintos combustibles, normalizado a lo largo de un periodo de 30 años.

Figura 180 Sobrecostes en el precio de distintos combustibles como consecuencia de la internalización de costes de las emisiones de CO₂. Resultados normalizados.

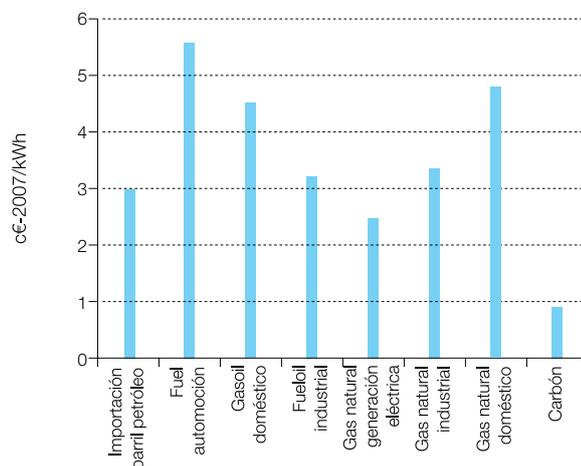


10.3

Combustibles fósiles

Para desarrollar los escenarios del coste de los combustibles fósiles, se parte de los valores existentes en el año 2007:

Figura 181 Valores de partida del precio de los combustibles fósiles, en términos de precio final sin impuestos, y en dinero constante del 2007.



Cómo evolucionen esos precios depende de las tasas de inflación incremental que se consideren. Si se extrapolan las habidas en los periodos 1990–2008 y 1998–2008 hacia el futuro, los valores finales del coste del petróleo para los distintos escenarios se encontrarían en cualquier lugar en el rango entre los 200–20.000 \$-2007/barril.

Como es evidente que en estas condiciones la economía mundial colapsaría totalmente, cabe esperar que la tendencia BAU evolucione en una de las dos direcciones siguientes, que conducen ambas a acotar las tasas de inflación incremental de los recursos fósiles:

- La mayoría de las economías del planeta no reaccionan, por lo que los elevados precios de los recursos fósiles desencadenan en episodios de crisis profunda que acotan el crecimiento del precio de los combustibles fósiles.

- Una parte del planeta opta por iniciar la transición hacia un contexto E3.0, lo cual aligera la presión sobre los recursos fósiles, de tal forma que se contengan las tasas de inflación. En ese caso, las condiciones en que se quedarían las economías que optasen por la transición al contexto E3.0 son muchísimo más favorables que las condiciones en que se quedarían las economías que permaneciesen en el contexto BAU. Esta es la hipótesis adoptada en este estudio, de modo que el escenario BAU para España supone que este país sería una de las economías que se quedan ancladas en el contexto BAU.

Las figuras 182, 183, 184 y 185 recogen el escenario adoptado para la evolución de las tasas anuales de inflación incremental en el precio del petróleo, y el escenario correspondiente de evolución de los precios del petróleo.

Figura 182 Escenario adoptado para las tasas anuales de inflación incremental en los precios del petróleo.

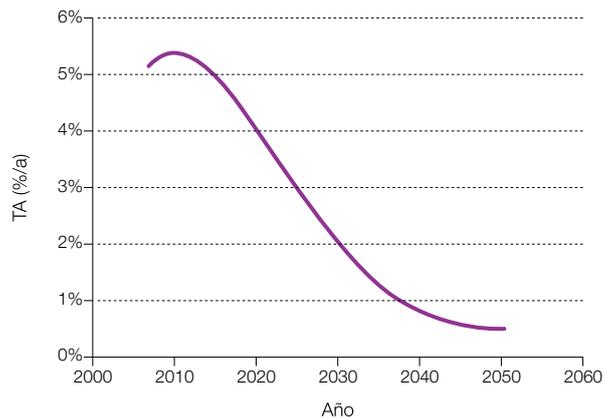
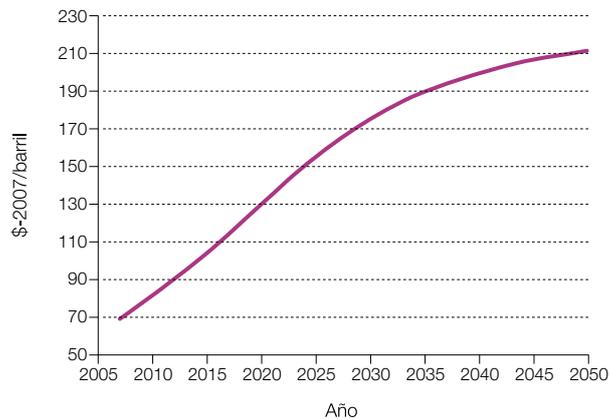
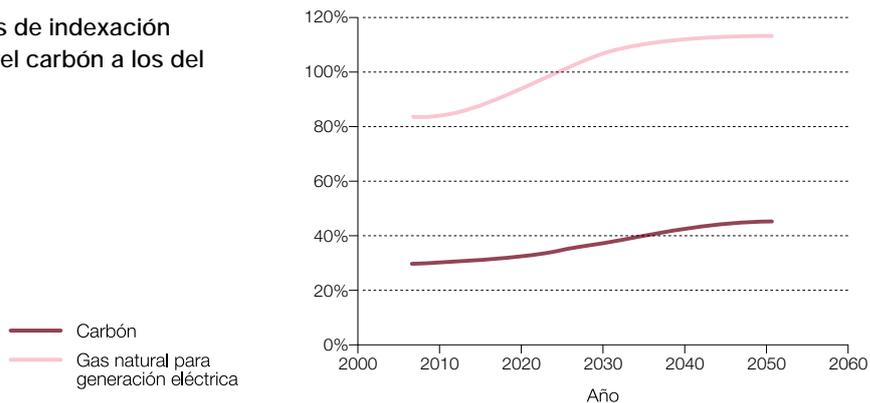


Figura 183 Escenario adoptado para la evolución de los precios del petróleo, en términos de unidades convencionales.



Por lo que respecta al carbón y el gas natural se consideran los escenarios de indexación con los costes del petróleo:

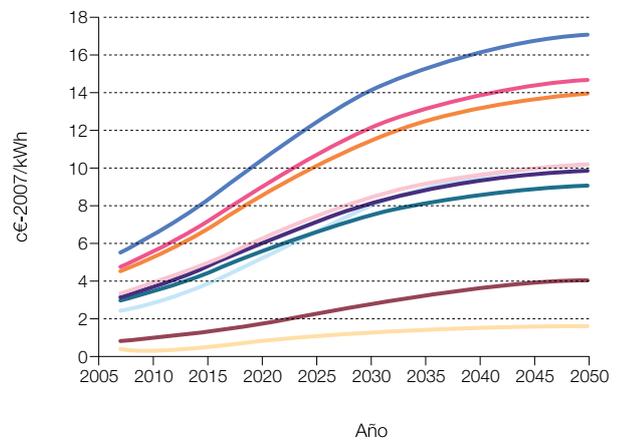
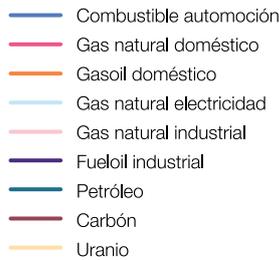
Figura 184 Escenarios adoptados de indexación de los costes del gas natural y del carbón a los del petróleo.



Con todo ello, resultan estos escenarios de costes de los distintos productos energéticos fósiles adoptados para

este estudio, donde se ha añadido el escenario para el coste del uranio desarrollado en el apartado siguiente.

Figura 185 Comparativa de los escenarios adoptados para la evolución del coste de distintos productos energéticos de origen fósil y nuclear.



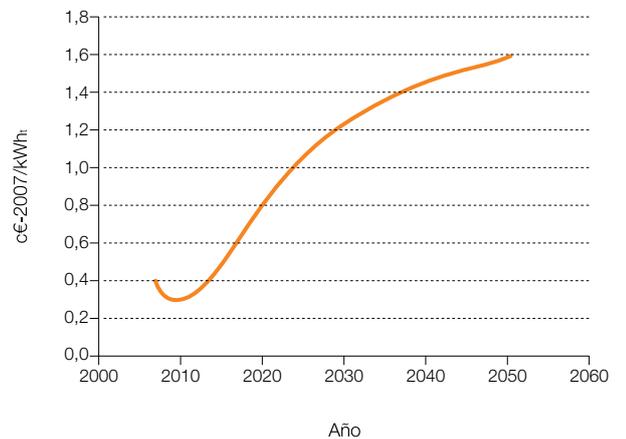
10.4

Energía nuclear: combustibles y operación y mantenimiento

Para el desarrollo de escenarios del coste del combustible nuclear, se parte de un valor del orden de los costes actuales, y se establece una tendencia inicial creciente de costes hasta alcanzar los valores necesarios

para que el reprocesado resultase rentable. A partir de ahí la inflación que quedaría solo reflejaría el efecto del incremento de la demanda global sobre un recurso escaso, si muchos países se apoyaran en la energía nuclear, ya que con solo cuadruplicar la relativamente escasa potencia nuclear actualmente instalada ya se agotarían todas las reservas de uranio actualmente conocidas. La figura 186 recoge el escenario adoptado para la evolución de los costes del combustible nuclear.

Figura 186 Escenario de costes del combustible nuclear adoptado.



Con solo cuadruplicar la relativamente escasa potencia nuclear actualmente instalada ya se agotarían todas las reservas de uranio actualmente conocidas.

La mayor parte de las incertidumbres y externalidades no cubiertas se encuentran en el resto de costes, esto es, en los costes de inversión y los de operación y mantenimiento, incluidos entre estos últimos los costes asociados a la disposición final de los residuos.

Por lo que respecta a los costes de inversión, la revisión de la literatura arroja un amplio abanico de estimaciones, desde 2.100 €/2007/kW_e hasta 5.200 €/2007/kW_e, con valores cada vez mayores que seguirán aumentando, puesto que los requerimientos de seguridad sobre estas instalaciones seguirán creciendo a lo largo del tiempo.

La mayor incertidumbre se halla en los costes de operación y mantenimiento (O&M), que es donde en la actualidad se encuentran la mayoría

de las externalidades sin valorar o infravaloradas: gobernabilidad, seguridad de operación, desmantelamiento, cobertura de responsabilidades ante incidencias, gestión de residuos, prevención de atentados, control de proliferación de armamento nuclear, y control de garantías de diseño y operación en un contexto de globalización de la tecnología nuclear. Si se tienen en cuenta todas esas incertidumbres, el escenario de costes adoptado parte de unos valores iniciales descompuestos entre un coste de O&M fijo de 80 €/2007/kW_e-a y un coste de O&M variable de 0,1 c€/2007/kWh_e, incorporando una internalización gradual de las externalidades. Las figuras 187 y 188 reproducen los escenarios de costes de O&M fijos y variables adoptados para las centrales nucleares.

Figura 187 Escenario adoptado para la evolución de los costes de O&M variables de las centrales nucleares.

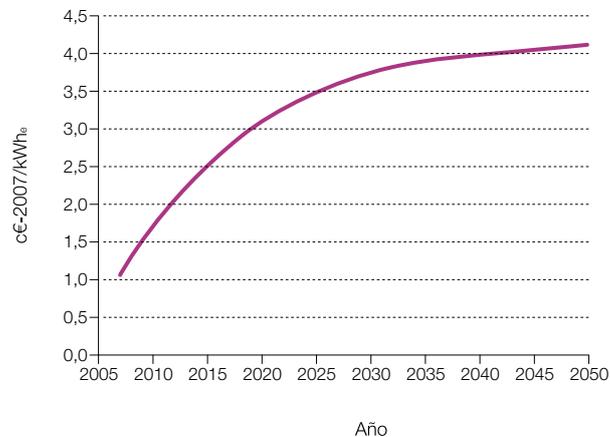
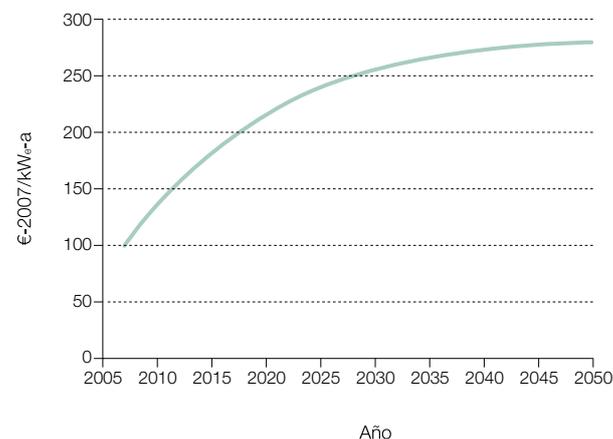


Figura 188 Escenario adoptado para la evolución de los costes de O&M fijos de las centrales nucleares.



10.5

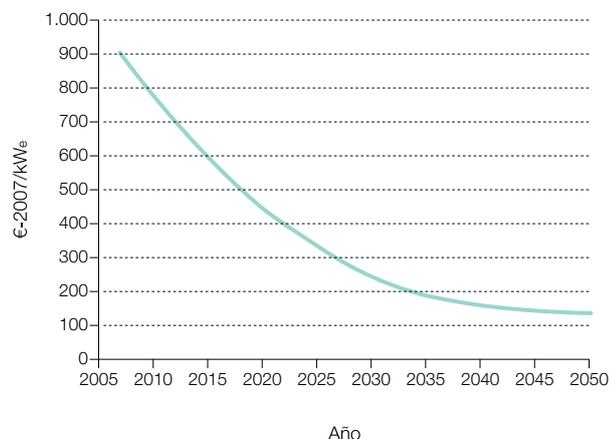
Hidrógeno

El hidrógeno contribuye de forma significativa a los costes totales del sistema energético mediante dos componentes principales: por un lado, los debidos a la generación, acondicionamiento y distribución del hidrógeno a partir de la electricidad renovable, y por otro, los derivados de la acumulación del hidrógeno.

Por lo que respecta a la producción del hidrógeno, los costes están dominados por los de inversión del equipamiento necesario, y a su vez se ven muy

afectados por el factor de capacidad con el que se usa el equipamiento de generación de hidrógeno. En el marco del sistema energético total, la producción de hidrógeno se emplea como elemento de regulación del sistema energético, y esto trae como resultado un factor de capacidad muy inferior al que se considera en los estudios actuales sobre generación de hidrógeno, por lo que los costes por unidad de energía son superiores. El escenario de costes adoptado, que muestra la figura 189, parte de unos costes representativos de la tecnología actual e introduce unas tasas de aprendizaje general para la tecnología, de tal forma que describe la evolución de costes que cabe esperar sin estar ligado a ninguna tecnología en concreto:

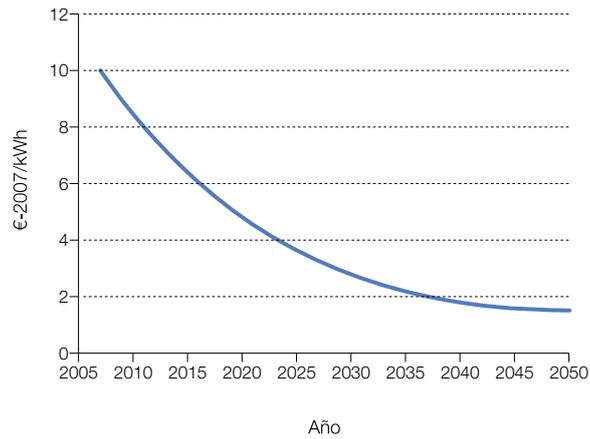
Figura 189 Escenario de costes asociado a la inversión para generación de hidrógeno a partir de electricidad.



En cuanto a la acumulación, se adopta un escenario genérico de evolución de costes, que parte de unos costes representativos de la situación actual, e implementa unas tasas de aprendizaje del conjunto de la tecnología. Por tanto, más que estar ligado a una tecnología en particular, cabe esperar que las

tecnologías de acumulación de hidrógeno se vayan modificando a medida que se recorre la curva de aprendizaje que da lugar a este escenario de evolución de costes. La figura 190 recoge el escenario de evolución de costes de acumulación de hidrógeno adoptado para este estudio:

Figura 190 Escenario adoptado para los costes de acumulación de hidrógeno.



10.6

Otros recursos energéticos

La energía solar térmica, tanto en el contexto BAU como en el E3.0 participa en la cobertura de la demanda de energía térmica, tanto en el sector edificación como en el industrial. La figura 191 recoge los costes normalizados considerados para esta tecnología en los años extremos del periodo de tiempo considerado.

En cuanto a la biomasa primaria, la figura 192 recoge los costes normalizados en el año inicial y final del periodo de tiempo considerado. Se incorporan los efectos de la inflación incremental, por la demanda creciente que cabe esperar sobre este recurso, que a pesar de ser renovable, es relativamente escaso y tiene muchas aplicaciones potenciales.

Figura 191 Costes normalizados considerados para la energía solar térmica para aplicaciones de cobertura de la demanda térmica.

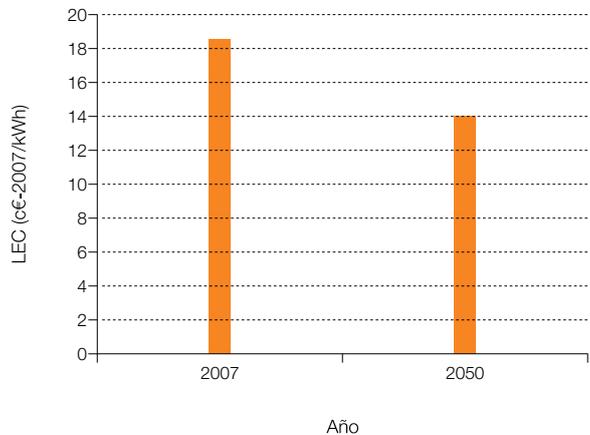
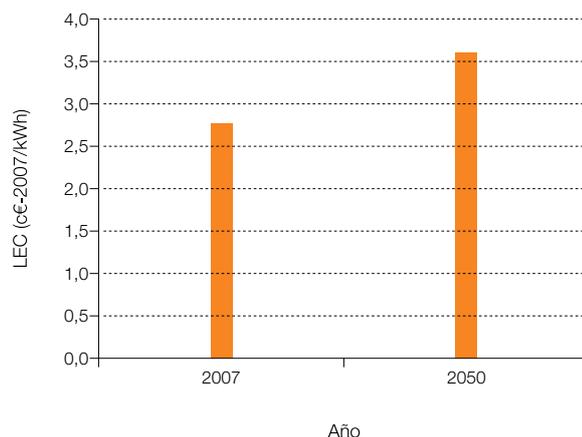


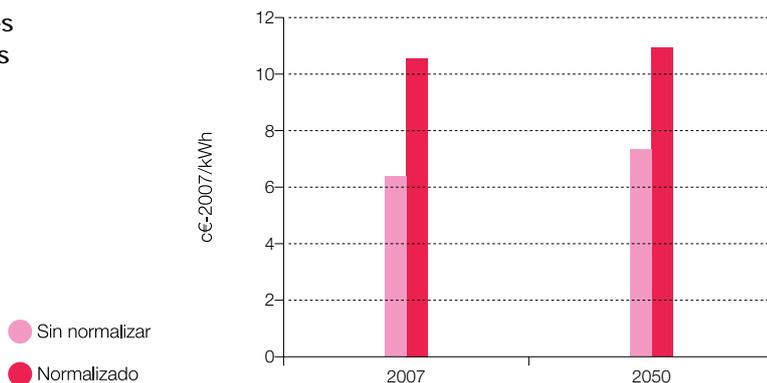
Figura 192 Coste normalizado de la biomasa directa en los años inicial y final del periodo de tiempo considerado.



En el caso de los biocombustibles procesados se ha empleado un único escenario de costes para todos ellos, que representa un promedio. El escenario parte de los costes de la materia prima, los rendimientos tipo de transformación, y costes de procesado. En la figura 193 se recogen los costes correspondientes a los años extremos

del periodo de tiempo considerado en el desarrollo de los escenarios, tanto en términos del coste para ese año, como en términos del coste normalizado durante un periodo de 30 años (a partir del año considerado). Se tiene en cuenta la inflación incremental debida a la demanda creciente que cabe prever sobre estos recursos limitados.

Figura 193 Costes de los biocombustibles procesados, sin normalizar y en términos normalizados.



10.7

Costes normalizados de generación eléctrica fósil y nuclear

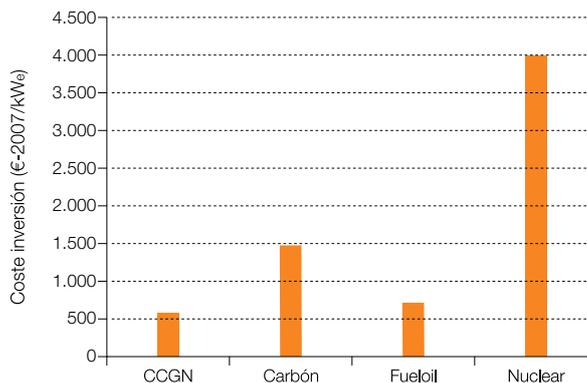
En este punto se recogen los costes normalizados de la electricidad para el contexto BAU. Estos costes incluyen los escenarios de costes anteriormente presentados para los combustibles y operación y mantenimiento, así como las correspondientes tasas de inflación incremental,

y se encuentran normalizados con un valor del interés del dinero del 8 %, y una tasa de inflación general del 3,5 %/a, así como una vida útil de las instalaciones de 30 años para las centrales de ciclo combinado de gas natural (CC GN) y fuel, de 35 años para las centrales de carbón, y de 40 años para las eventuales centrales nucleares nuevas.

Respecto a los costes de inversión, la figura 194 recoge los valores considerados:

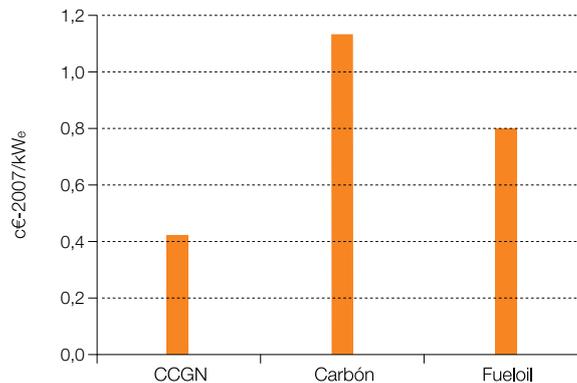
En el caso de las renovables, el elemento principal en la evolución de los costes es la reducción de los costes de inversión al progresar estas tecnologías por sus curvas de aprendizaje, lo que proporciona unos costes decrecientes de la unidad de energía generada.

Figura 194 Costes de inversión considerados para las distintas tecnologías del contexto BAU.



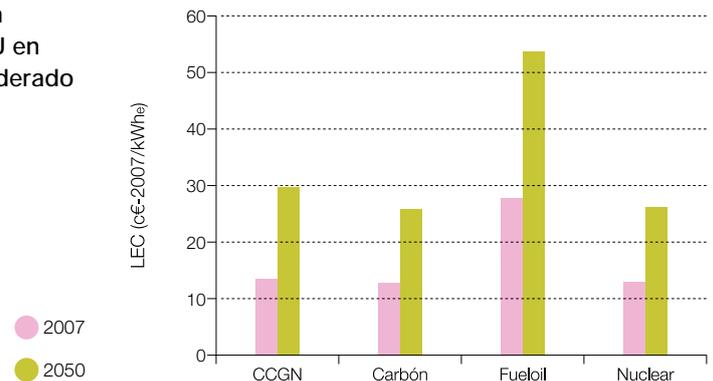
Por lo que respecta a los costes de O&M de las tecnologías de combustibles fósiles, los valores adoptados, excluyendo los costes asociados a las emisiones de CO₂ ya documentados anteriormente, son los que muestra la figura 195.

Figura 195 Costes de O&M, excluyendo los asociados a las emisiones de CO₂, adoptados para las tecnologías de combustión fósil del contexto BAU.



Si se tienen en cuenta los distintos factores de capacidad, los costes totales (incluidos costes de emisiones de CO₂) normalizados asociados a la generación de electricidad con las tecnologías del mix BAU son los recogidos en la figura 196.

Figura 196 Costes normalizados de generación eléctrica con las tecnologías del contexto BAU en los años extremos del periodo temporal considerado para el desarrollo de los escenarios.



10.8

Tratamiento de la evolución temporal del coste

Los costes de la energía obtenida con un mix determinado evolucionan a lo largo del tiempo. En el caso de las renovables, el elemento principal en la evolución de los costes es la reducción de los costes de inversión al progresar estas tecnologías por sus curvas de aprendizaje, lo que proporciona unos costes decrecientes de la unidad de energía generada. Para el caso de las energías de origen fósil, el elemento principal de evolución de sus costes es la inflación incremental en los combustibles, consecuencia directa de constituir un recurso escaso y limitado sometido a una demanda galopante, lo que conduce a unos costes crecientes de la unidad de energía. En el caso de la energía nuclear, tanto los costes de inversión (por motivos de demanda creciente de seguridad), como los de los combustibles (por una inflación incremental por el mismo motivo que los combustibles fósiles), y los de operación y mantenimiento (por los requerimientos de seguridad e internalización del impacto futuro de sus residuos), contribuyen a producir unos costes crecientes de la unidad de energía a lo largo del tiempo.

En el capítulo de escenarios de cobertura de la demanda se presentan los datos de costes a lo largo del tiempo: se proporcionan los costes asociados al inicio del periodo de análisis (año 2007) y al final del periodo de análisis (año 2050); y también se analizan los costes promedio a lo largo del periodo considerado. Si se parte de los costes normalizados de la unidad de energía (LEC) expresados en dinero constante (c€/2007/kWh) para el inicio (año

2007: LEC_{2007}) y final (año 2050: LEC_{2050}) del periodo considerado, se adoptan dos escenarios de evolución de estos costes: uno para los costes decrecientes de las energías renovables (modelo energético del contexto E3.0), y otro para los costes crecientes de las energías fósiles y nuclear (modelo energético del contexto BAU).

Los resultados se presentan en términos de:

- $LEC_m(t)$: el valor del LEC promedio del parque de una tecnología, que varía a lo largo del tiempo. Se calcula de forma diferente para las tecnologías fósiles (más dominadas por los costes de combustible) y para las renovables (fuertemente dominadas por los costes de inversión).
- $LEC_{promedio}$: el valor promedio del LEC en un periodo de tiempo dado.

10.9

Sobre el coste del ahorro

El coste asociado al despliegue de eficiencia (coste del negavatio) es un aspecto importante. En el marco de este estudio, se ha encontrado que, para la mayoría de las medidas de eficiencia dentro del sector edificación, los costes del negavatio cabe esperar que se sitúen por debajo de 1 c€/2007/kWh. Y en el caso de diversas medidas de eficiencia, el coste del negavatio podía ser negativo, es decir, ahorrar una unidad de energía no solo no cuesta dinero, sino que ahorra dinero. En la literatura reciente, el 80% de las medidas de reducción de emisiones en el sector edificación son de coste negativo, y los valores máximos para la mayoría de las medidas se sitúan por debajo de 5,5 c€/2007/kWh. Por

En la literatura reciente, el 80% de las medidas de reducción de emisiones en el sector edificación son de coste negativo.

lo general, el coste del negavatio, tanto el obtenido en este estudio como el que se puede deducir del análisis de la bibliografía, queda bien por debajo del coste máximo del ahorro para que el coste total del sistema energético en el contexto E3.0 sea inferior al coste total del sistema energético en el contexto BAU.

Sin embargo, estos valores dependen de muchos factores, por lo que hay varias consideraciones a tener en cuenta:

- Algunas medidas de ahorro se pueden saturar, y se genera un óptimo técnico-económico a partir del cual lograr un pequeño incremento en el ahorro de energía tiene un alto coste. Solo al superar estos puntos óptimos en el despliegue de eficiencia es cuando hay que plantearse cubrir esta demanda marginal por otros medios.
- En el caso del contexto E3.0, la alternativa a una inversión en eficiencia no es tan solo invertir en producir más energía, sino que también está disponible la respuesta de la demanda para aprovechar la electricidad 'residual' procedente de los requerimientos de regulación del sistema eléctrico, cuando no exista otra opción de

integración de esa electricidad dentro del sistema energético.

- El coste máximo admisible del negavatio depende del coste de referencia de cubrir esos negavattos con generación adicional, pero esto a su vez depende del valor que le demos a las 'externalidades'. Algunas de esas externalidades son hechos muy contundentes, como los derivados del cambio climático y de la disponibilidad equitativa de recursos entre todos sus potenciales usuarios (presentes y futuros), de forma que siempre que esos negavattos sean imprescindibles para adaptarnos a esos hechos, no existen límites máximos al coste permisible del negavatio.
- El valor máximo del coste del ahorro (coste del negavatio) para que el coste total en el contexto E3.0 se mantenga por debajo del coste total del sistema energético en el contexto BAU se encuentra en el rango de 15–25 c€/2007/kWh, un valor muy superior al del coste correspondiente al negavatio en el punto óptimo para la gran mayoría de medidas de ahorro.
- Los valores del coste del negavatio en cada estudio dependen mucho de la evolución del precio de la energía en el contexto BAU.



Detalle de la central termosolar de torre central Gemasolar (Sevilla), propiedad de Torresol Energy, con una potencia de 15 MW.

©MARKEL REDONDO / GREENPEACE



Detalle de aerogeneradores pertenecientes al parque eólico Cogollos II, situado en Cogollos (Burgos).

Escenarios de cobertura de la demanda

11.1

Introducción

En este capítulo se presentan los resultados del análisis de la cobertura de la demanda de los contextos BAU y E3.0. Se han analizado cuatro casos, y se han combinado los dos escenarios de demanda (BAU y E3.0) con dos opciones de cobertura de la demanda en cada uno de ellos:

- Demanda energética BAU con generación BAU.
- Demanda energética BAU con generación 100 % renovable.
- Demanda energética E3.0 con generación 100 % renovable, sin gestión de la demanda.
- Demanda energética E3.0 con generación 100 % renovable, con gestión de la demanda.

El procedimiento seguido parte de la estructura de la demanda de energía final, y si se tienen en cuenta las características de cada una de las tecnologías consideradas, se dimensionan distintos mix de generación con capacidad de dar cobertura a la demanda. Una vez conocida la estructura del mix de generación, y la participación de cada una de las tecnologías consideradas en él, se toman los escenarios de costes desarrollados en el capítulo anterior, y con ellos se evalúa el coste total asociado a la cobertura de la demanda.

Los resultados presentan la estructura de la generación y de la demanda, los análisis de cobertura de la demanda (en base horaria³⁸), y los costes resultantes de cada una de las opciones consideradas, tanto en términos de coste anual absoluto, como en términos de coste relativo a la unidad de energía final suministrada.

La estructura de la generación con energías renovables se modela del mismo modo que en el estudio *Renovables 100%* (Greenpeace, 2007), se parte de simulaciones horarias provinciales de la generación disponible con cada tecnología, ponderada con la potencia instalada de cada una de esas tecnologías en cada mix considerado.

11.2

Estructura cronológica de la demanda energética

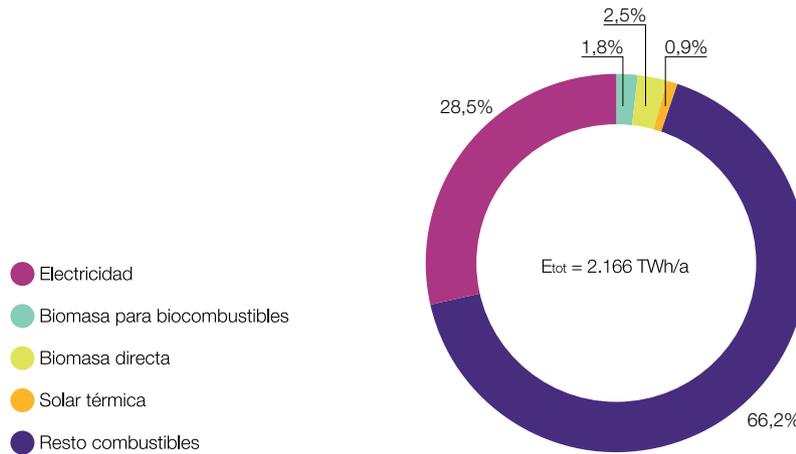
11.2.1 Demanda en el escenario de continuidad

Desde el punto de vista de la cobertura de la demanda es relevante la caracterización de la demanda de recursos energéticos. La figura 197 recoge la estructura de la demanda de recursos necesaria para la cobertura de la demanda en el escenario de continuidad (BAU) en el año 2050.

³⁸ Los análisis de cobertura de la demanda desarrollados en este estudio analizan la cobertura de la demanda a nivel horario durante un año entero.

Para analizar cómo cubrir la demanda hace falta considerar la variación de esta a lo largo del tiempo.

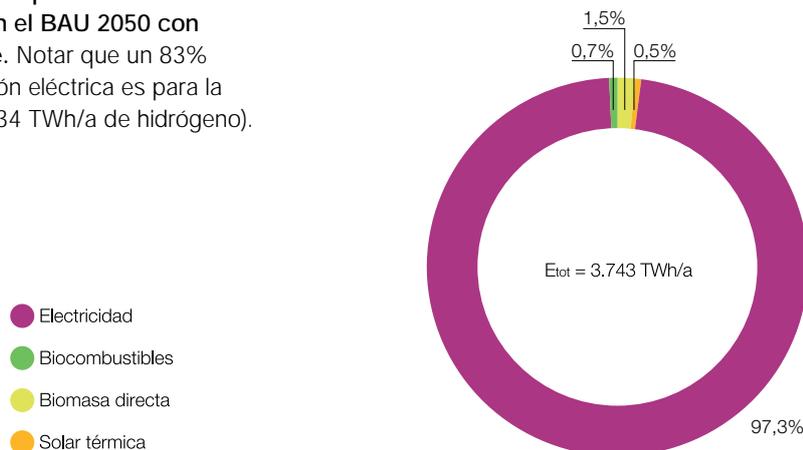
Figura 197 Estructura de la demanda de recursos BAU en 2050.



Para el caso de cobertura de la demanda BAU con generación 100% renovable, la estrategia adoptada es la cobertura de la parte de demanda de energía final en forma de combustibles distintos a la biomasa (lo que para

un mix BAU se cubriría con combustibles fósiles) con hidrógeno producido a partir de electricidad de origen renovable. La figura 198 recoge los requerimientos de generación para este caso:

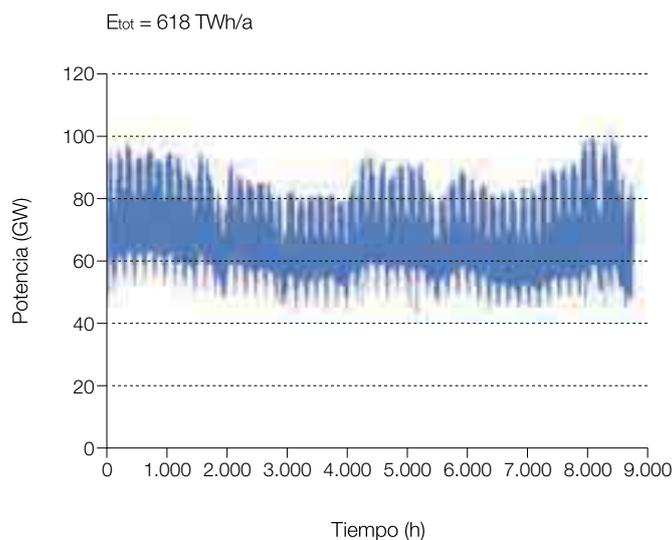
Figura 198 Estructura de los requerimientos de producción energética en el BAU 2050 con generación 100% renovable. Notar que un 83% del requerimiento de generación eléctrica es para la producción de hidrógeno (1.434 TWh/a de hidrógeno).



Para analizar cómo cubrir la demanda, no basta con tener en cuenta la cantidad de energía que se necesita en cada forma, sino que hace falta considerar la variación de la demanda a lo largo del tiempo. Para ello se ha elegido la modulación temporal de la demanda eléctrica en el año

2008 (último año previo a la crisis económica) para describir la dependencia temporal de la demanda de electricidad en el contexto BAU. La figura 199 muestra esa variación de la demanda eléctrica a lo largo de un año, adaptada al escenario BAU 2050 desarrollado en este estudio.

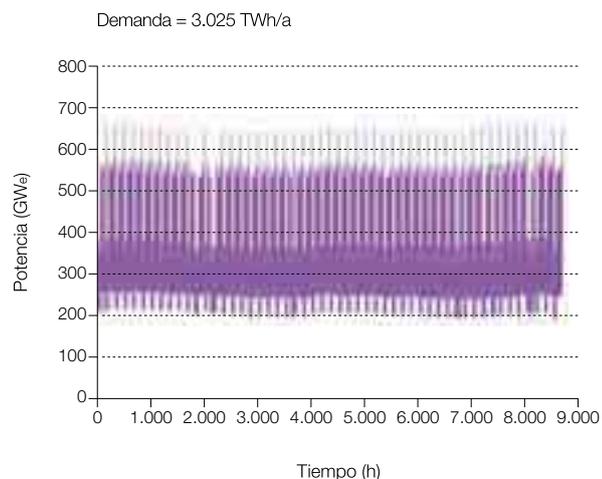
Figura 199 Evolución horaria de la demanda de electricidad en el contexto BAU para el año 2050.



Para el caso de estudio de la cobertura de la demanda BAU en el año 2050 con energías renovables, además de la modulación horaria de la demanda directa de electricidad, también es relevante la distribución horaria de la demanda de hidrógeno. La figura 200 recoge la

modulación horaria de la demanda de hidrógeno, en términos eléctricos equivalentes en barras de central, para el contexto BAU en el año 2050 en el caso con cobertura de la demanda con energías renovables:

Figura 200 Distribución horaria de la demanda de hidrógeno, en términos eléctricos equivalentes, para el contexto BAU en el año 2050 y el caso de cobertura de la demanda basándose en energías renovables.



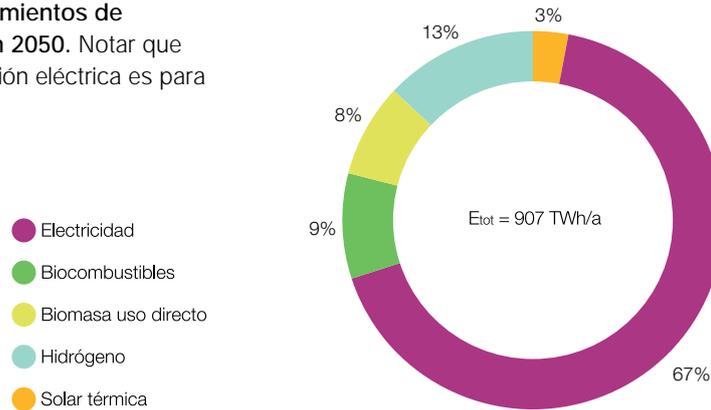
11.2.2 Demanda en el escenario de eficiencia

En el contexto de eficiencia (E3.0) la electrificación del sistema energético es mucho más elevada, y la participación del hidrógeno más limitada que para el

caso de la demanda BAU cubierta con generación 100% renovable. Por lo que respecta a los requerimientos de producción energética para este contexto, la figura 201 muestra la estructura de la producción energética requerida, donde se ve el gran dominio de la electricidad.

Para la recarga de vehículos eléctricos se considera la opción de la interacción bidireccional (V2G) entre estos vehículos y el sistema eléctrico, de tal forma que la capacidad de acumulación y potencia de los vehículos eléctricos se convierten en mecanismos de flexibilidad para la regulación del propio sistema eléctrico.

Figura 201 Estructura de los requerimientos de producción energética para E3.0 en 2050. Notar que un 41% del requerimiento de generación eléctrica es para producción de hidrógeno.

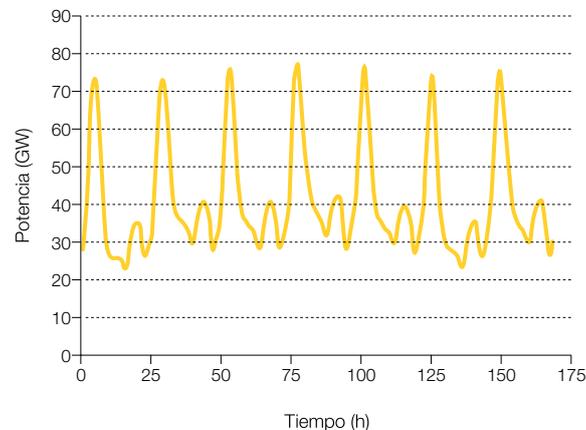


La modulación horaria de la demanda cronológica en el contexto E3.0 se apoya en los resultados de los análisis subsectoriales llevados a cabo (edificación, transporte y resto).

Por lo que se refiere a la demanda de electricidad directa³⁹, nos encontramos con dos casuísticas distintas que afectan a la distribución horaria de la demanda, y que están principalmente asociadas a la forma en que se procede a la recarga de los vehículos eléctricos.

Uno de los casos analizados corresponde a la situación en que se procede a la recarga nocturna de los vehículos eléctricos, con la finalidad de allanar la curva de carga actual del sistema eléctrico, que denominamos recarga BAU. Este efecto se aprecia en la figura 202, donde se muestra la secuencia horaria de la demanda de electricidad directa para este caso a lo largo de una semana: ante la gran diferencia entre el máximo de demanda (siete máximos en la semana, uno por cada día) y el mínimo (cada noche), la recarga nocturna de los vehículos eléctricos rellena en parte ese valle.

Figura 202 Evolución horaria de la demanda de electricidad directa (en barras de central) en el contexto E3.0 para el año 2050 para el caso de recarga BAU de los vehículos eléctricos, a lo largo de la semana 1 (enero).

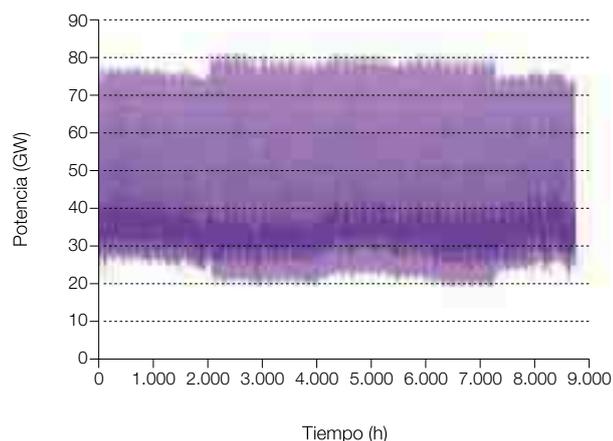


Para analizar la cobertura de la demanda, se considera la variación de la demanda a lo largo de todo el año. La

figura 203 es como la anterior, pero mostrando un año completo.

³⁹ Denominamos electricidad directa al consumo de electricidad que no se emplea para la producción de hidrógeno.

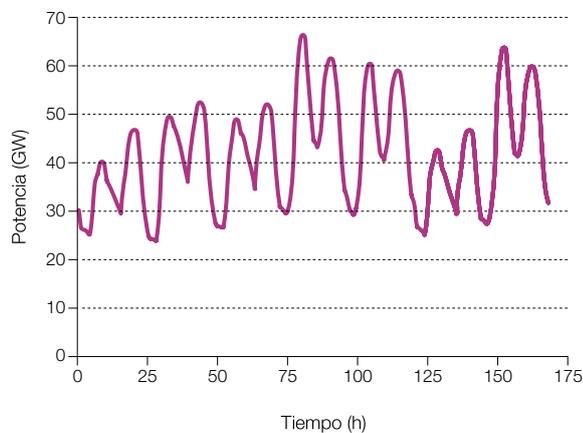
Figura 203 Evolución horaria de la demanda de electricidad directa (en barras de central) en el contexto E3.0 para el año 2050 para el caso de recarga BAU de los vehículos eléctricos, a lo largo de todo el año.



La otra opción considerada para la recarga de vehículos eléctricos es la de interacción bidireccional (V2G⁴⁰) entre estos vehículos y el sistema eléctrico, de tal forma que la capacidad de acumulación y potencia de los vehículos eléctricos pasan a constituir mecanismos de flexibilidad para la regulación del sistema eléctrico. En estas condiciones no existe una curva de demanda eléctrica predeterminada, sino que esta se define dinámicamente en cada instante según la evolución de la demanda, la capacidad de generación, y la interacción con el parque de vehículos. Como

punto de partida de las simulaciones correspondientes a esta situación, se ha partido de una demanda inicial de electricidad directa que incluye la demanda asociada al transporte eléctrico con la modulación horaria con la que se cubre la demanda de movilidad. En la figura 204 se muestra cómo variaría la demanda eléctrica en este caso a lo largo de la misma semana mostrada en el caso anterior. Se aprecia cómo ya no tiene por qué existir un máximo y un mínimo cada día, sino que están interaccionando la demanda de movilidad y la demanda de electricidad.

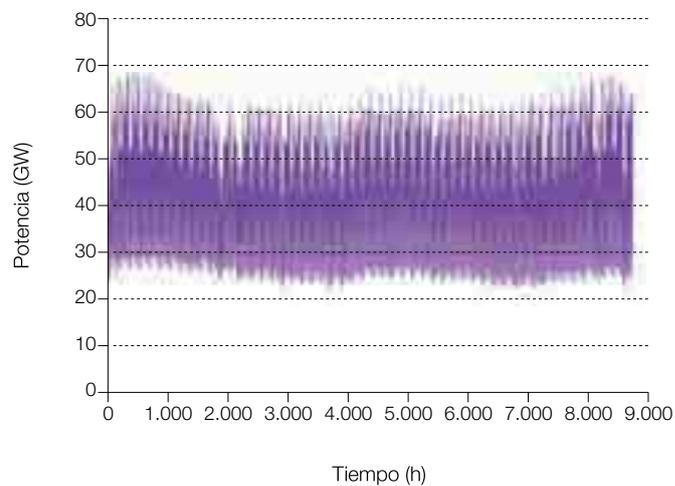
Figura 204 Evolución horaria de la demanda de electricidad directa (en barras de central) en el contexto E3.0 para el año 2050 para el caso de recarga V2G de los vehículos eléctricos a lo largo de la semana 1 (enero).



⁴⁰ V2G: Vehicle To Grid. Método de recarga de vehículos eléctricos en el que se realiza una interacción bidireccional entre estos vehículos y el sistema eléctrico.

En la figura 205 se muestra la modulación horaria de la demanda eléctrica para este caso a lo largo de todo el año:

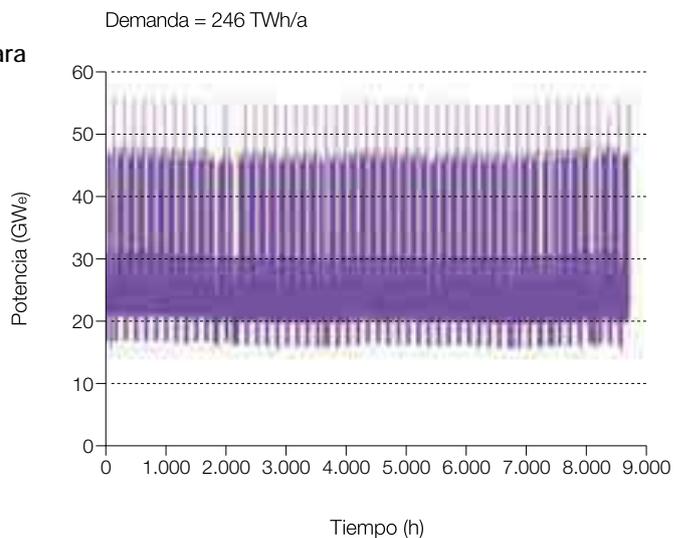
Figura 205 Evolución horaria de la demanda de electricidad directa (en barras de central) en el contexto E3.0 para el año 2050 para el caso de recarga V2G de los vehículos eléctricos a lo largo de todo el año.



El otro vector energético para el que resulta relevante la distribución horaria de su demanda es el hidrógeno. En la figura 206 se recoge la distribución horaria de la

demanda de hidrógeno en uso final para el contexto E3.0 en el año 2050, y en términos eléctricos equivalentes.

Figura 206 Distribución horaria de la demanda de hidrógeno en términos eléctricos equivalentes, para el contexto E3.0 y el año 2050.



11.3

Cobertura de demanda en el escenario de continuidad

En este punto, partiendo de los escenarios de demanda y costes anteriormente presentados, se analiza la cobertura de la demanda en el contexto de continuidad (BAU), con el objetivo final de determinar los costes relativos y absolutos asociados a la cobertura de esta demanda. Se analizan dos casos: un mix de generación BAU y otro 100% renovable.

11.3.1 Cobertura de la demanda con generación BAU

En primer lugar se analiza la cobertura de la demanda de electricidad con el mix de generación BAU.

Las figuras 207 a 210 muestran la estructura de los mix de generación eléctrica BAU, para los años 2007 y 2050, tanto en términos de potencia instalada como de contribución a la cobertura de la demanda.

El mix BAU para el año 2050 toma como punto de partida el escenario para el año 2020 acordado en 2010 por la Subcomisión de análisis de la estrategia energética española del Congreso, sobre el que se incrementan las potencias para cubrir la demanda BAU 2050, y se reducen los factores de capacidad de las tecnologías 'convencionales' para regular la creciente participación renovable, y de las renovables por no conseguir integrar toda su capacidad de generación como consecuencia de la rigidez del sistema. Como se ve, el sistema eléctrico para el mix BAU, con unos 201 GW_e de potencia instalada, produce del orden del 29% de la energía empleada para cubrir la demanda (el resto son combustibles), e implementa un 38% de generación de origen renovable.

Figura 207 Estructura de la potencia del mix de generación eléctrica para el BAU en 2007.

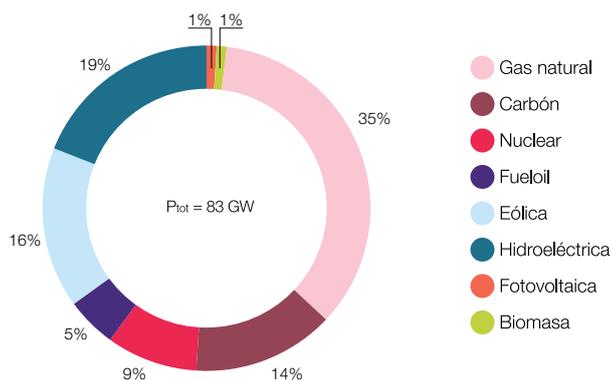
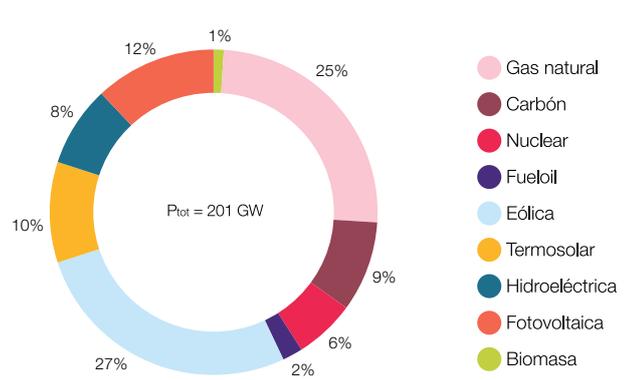


Figura 208 Estructura de la potencia del mix de generación eléctrica para el BAU en 2050.



Para la cobertura de la demanda BAU con generación 100% renovable, el sistema de generación y acumulación de hidrógeno constituye uno de los elementos principales de integración del sistema energético.

Figura 209 Estructura de la generación eléctrica para el mix BAU en 2007.

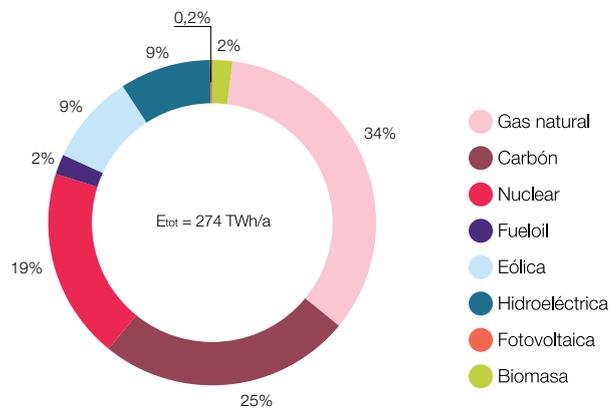
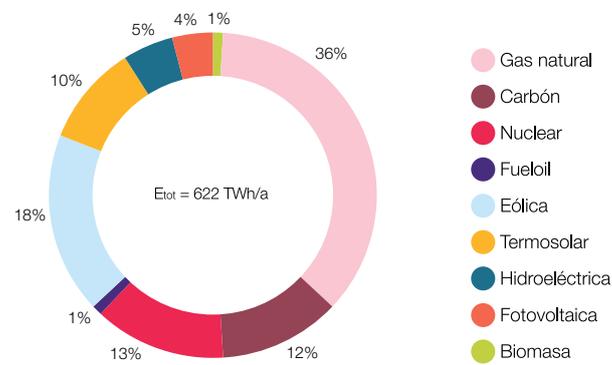


Figura 210 Estructura de la generación eléctrica para el mix BAU en 2050. La generación eléctrica mostrada es en barras de central, e incluyen los efectos del bombeo hidroeléctrico.



Por último, se analiza la cobertura de la demanda de combustibles para uso no eléctrico.

En las figuras 211 y 212 se muestra la estructura del consumo de combustibles adicionales a los empleados

para la generación eléctrica en el contexto BAU para los años 2007 y 2050, necesarios para cubrir la demanda BAU y que excluyen las aportaciones de la energía solar térmica.

Figura 211 Estructura del consumo de combustibles en el BAU 2007.

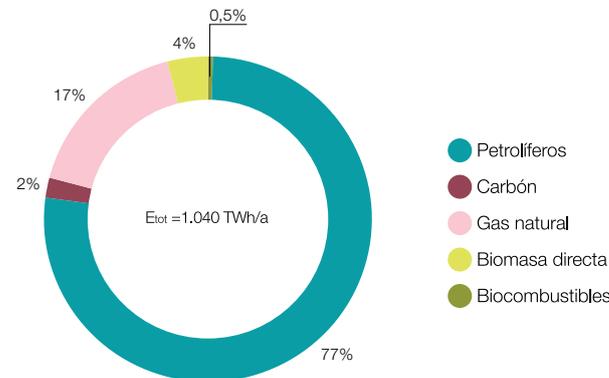
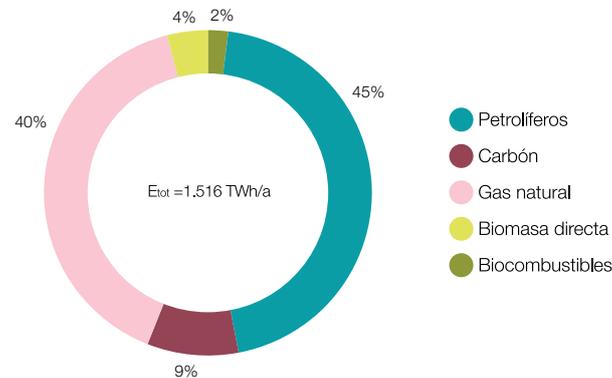


Figura 212 Estructura del consumo de combustibles en el BAU 2050.



11.3.2 Cobertura de la demanda con generación renovable

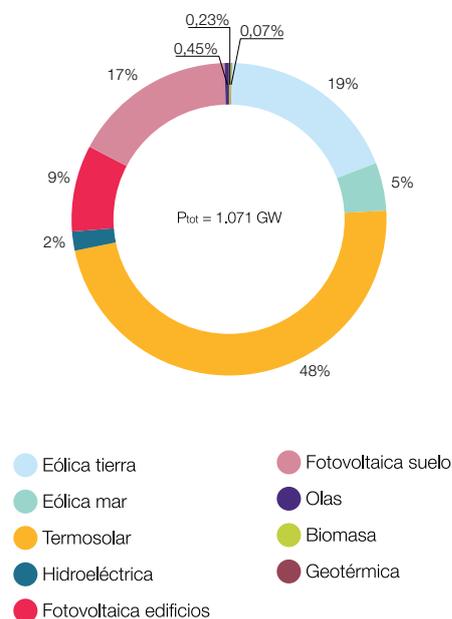
De nuevo se parte de la demanda BAU, pero en este caso se analiza la cobertura de dicha demanda con un sistema de generación 100% renovable. El planteamiento es el de integración vía electricidad apuntado en el informe *Renovables 100%* (Greenpeace, 2007): como para cubrir la totalidad de la demanda de electricidad directa con energías renovables resultaba un excedente de electricidad disponible, ésta se emplea para producir hidrógeno, el cual da cobertura al grueso de la demanda de combustibles en el contexto BAU. La forma de hacerlo es partir de un mix de generación renovable con capacidad de dar cobertura a la demanda directa de electricidad, y sobredimensionar su capacidad de generación hasta que el excedente de capacidad de generación eléctrica proporcione la electricidad necesaria para generar el hidrógeno requerido.⁴¹

El mix de generación ha de adaptarse para su aplicación al escenario BAU de este informe, por varios motivos: respecto a la demanda de electricidad del escenario empleado en el informe *Renovables 100%* (Greenpeace, 2007), la del escenario BAU de este informe es considerablemente superior (ya que el escenario de población es muy superior, hay una mayor electrificación de todos los subsectores energéticos, y se usa una metodología bastante más detallada para elaborar los escenarios de demanda) y a ello hay que añadir que ahora se plantea un sistema energético integrado, en el cual el mix de generación renovable debe tener capacidad de cubrir el grueso de la demanda de combustibles además de la demanda eléctrica directa.

A continuación se presenta un mix de generación que proporciona una cobertura total de la demanda⁴² ($SF_{\text{eléctrica}} = 100\%$; $SF_{\text{tot}} = 100\%$), para lo cual requiere la instalación de un múltiplo solar⁴³ de $SM = 10.6$. Las

figuras 213 y 214 muestran la estructura de la potencia instalada en este mix, con un total de 1.071 GW, así como la distribución de la cobertura de la demanda total de electricidad (directa y para generación de hidrógeno) entre las distintas tecnologías. Los costes de la electricidad producida serían en este caso de $LEC_{2007} = 15.5 \text{ c€-2007/kWh}$ y $LEC_{2050} = 4.4 \text{ c€-2007/kWh}$.

Figura 213 Distribución de la potencia instalada en el mix dimensionado para la cobertura de la demanda total BAU 2050. $SM = 10,6$; $C = 1,5 \text{ TWh}$; $SF_{\text{eléctrica}} = 100\%$; $SF_{\text{tot}} = 100\%$; $F_{\text{disipada}} = 0\%$; $A_{\text{territorio}} = 18,9\%$; $LEC_{2007} = 15,5 \text{ c€-2007/kWh}$; $LEC_{2050} = 4,4 \text{ c€-2007/kWh}$.



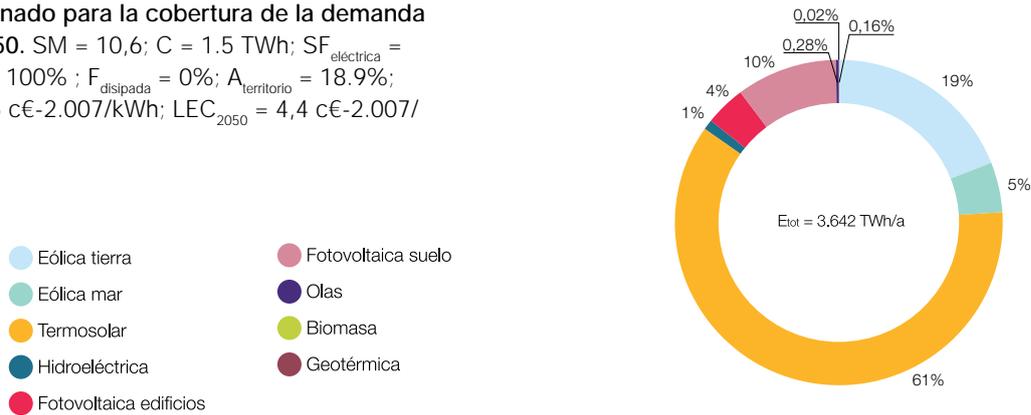
⁴¹ La gran demanda de combustibles en el contexto BAU conduce al requerimiento de un gran sobredimensionado del sistema eléctrico en relación a la demanda de electricidad directa, lo cual proporciona un importante mecanismo de flexibilidad para la cobertura de la demanda eléctrica, y reduce los requerimientos de otros mecanismos de flexibilidad que resultaban mucho más determinantes en el caso de que el sistema de generación 100% renovables tan solo tuviera que hacerse cargo de la demanda de electricidad directa. En efecto: la potencia eléctrica instalada para proporcionar la cobertura de la demanda del total del sistema energético del contexto BAU con el mix 100% renovable es del orden de 1.071 GW_e, mientras que para la cobertura de la demanda de electricidad directa bastarían del orden de 222 GW_e.

⁴² Como en el informe *Renovables 100%* (Greenpeace, 2007), en este se emplea la fracción solar (SF) para indicar el grado de cobertura de la demanda. La SF se define como el cociente entre la cobertura de la demanda proporcionada por el mix de generación considerado, y la demanda total.

⁴³ Como en el informe *Renovables 100%* (Greenpeace, 2007), en este se emplea el múltiplo solar (SM) para caracterizar el tamaño relativo del mix de generación considerado en relación a la demanda. El SM se define como el cociente entre la potencia nominal del mix de generación, y el máximo de la demanda horaria a la que se somete el mix de generación. Para facilitar la comparación entre todos los casos, el denominador del múltiplo solar siempre es el máximo horario de la demanda de electricidad directa a la que se ve sometido el mix de generación.

A partir de 2050 la solución basada en generación 100% renovable presenta unos costes estables en el tiempo, mientras que la correspondiente al mix BAU seguirá siendo cada vez más cara.

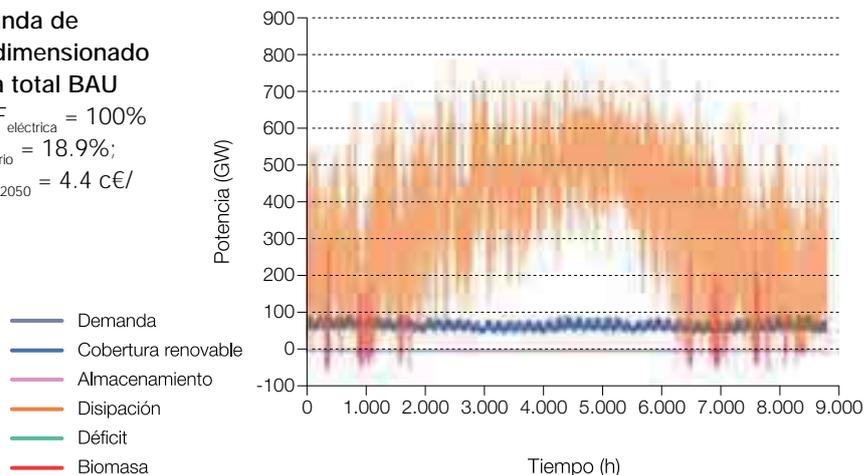
Figura 214 Estructura de la generación eléctrica del mix dimensionado para la cobertura de la demanda total BAU 2050. SM = 10,6; C = 1.5 TWh; SF_{eléctrica} = 100%; SF_{tot} = 100%; F_{disipada} = 0%; A_{territorio} = 18.9%; LEC₂₀₀₇ = 15,5 c€/2.007/kWh; LEC₂₀₅₀ = 4,4 c€/2.007/kWh.



En la figura 215 se reproduce el resultado del proceso de análisis de la cobertura de la demanda de electricidad directa para este mix. Se aprecia el dominio de la

'disipación' del sistema eléctrico, que en este caso de sistema energético integrado se usa en su totalidad para producir el hidrógeno requerido.

Figura 215 Cobertura de la demanda de electricidad directa para el mix dimensionado para la cobertura de la demanda total BAU 2050. SM = 10.6; C = 1.5 TWh; SF_{eléctrica} = 100%; SF_{tot} = 100%; F_{disipada} = 0%; A_{territorio} = 18.9%; LEC₂₀₀₇ = 15.5 c€/2007/kWh; LEC₂₀₅₀ = 4.4 c€/kWh.



El sistema de generación y acumulación de hidrógeno constituye uno de los elementos principales de integración del sistema energético, y permite integrar todo el excedente horario de capacidad de generación eléctrica y acoplar las secuencias temporales de generación renovable y de demanda de combustibles. Para obtener una cobertura total de la demanda (SF_{tot} = 100%) este mix necesita 282 TWh_{H₂} de capacidad de acumulación, equivalente a una reserva de 72 días, para

no desperdiciar capacidad de generación proporcionada por el mix de generación eléctrica.

Las figuras 216 y 217 presentan la evolución de la potencia de carga y descarga de la acumulación de hidrógeno (en términos eléctricos equivalentes), así como la evolución del estado de carga de la reserva total de hidrógeno a lo largo del año. Adicionalmente a esta capacidad de acumulación de hidrógeno, se requiere una potencia total de generación de hidrógeno de 799 GW_e.

Figura 216 Evolución de las potencias de carga y descarga del sistema de acumulación de hidrógeno para el mix dimensionado para la cobertura de la demanda total BAU 2050. $SM = 10.6$; $SF_{tot} = 100\%$; $F_{disipada} = 0\%$; $A_{territorio} = 18.9\%$.

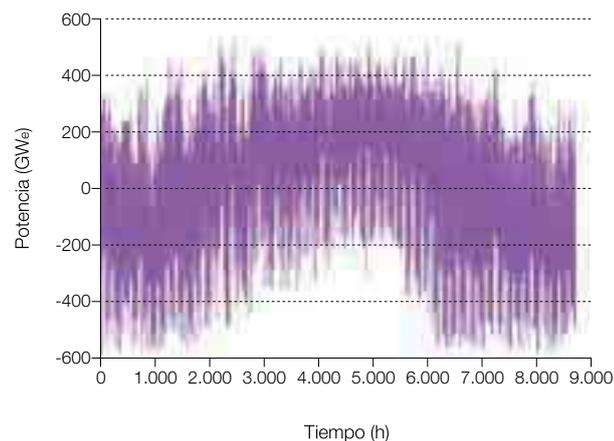
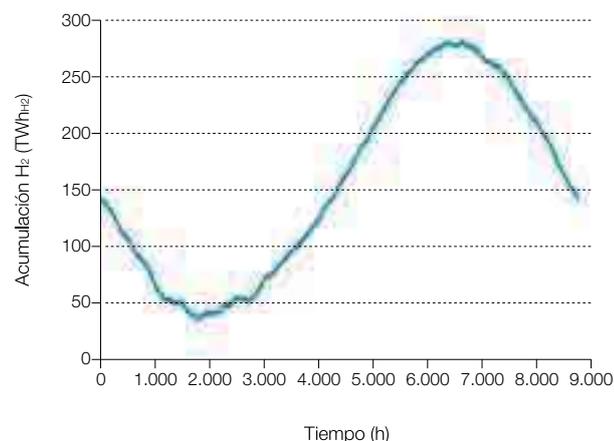


Figura 217 Evolución del estado de carga del sistema de acumulación de hidrógeno para el mix dimensionado para la cobertura de la demanda total BAU 2050. $SM = 10.6$; $SF_{tot} = 100\%$; $F_{disipada} = 0\%$; $A_{territorio} = 18.9\%$.



11.3.3 Coste total del sistema energético

En este apartado se evalúan los costes del total del sistema energético, que comprenden el coste de la electricidad producida, los combustibles fósiles adicionales a los empleados para generación de electricidad, la biomasa directa, los biocombustibles, la solar térmica, la capacidad de generación y de acumulación de hidrógeno y las emisiones.

Además de los costes específicos por unidad de energía (LEC)⁴⁴ se presentan los costes absolutos. Desde el punto de vista de la evaluación de los efectos de las medidas de eficiencia e inteligencia que se incorporarán en el contexto E3.0, lo relevante es el coste anual

absoluto asociado a la producción de energía, pues aunque el coste específico (LEC) resulte superior al desplegar eficiencia e inteligencia, es en el coste absoluto donde se ven reflejadas las ventajas económicas de estas medidas.

En primer lugar se muestran los costes del sistema de **generación BAU**.

En la estructura de costes del contexto BAU con un sistema de generación BAU se diferencian los costes asociados a las emisiones de CO₂ y los correspondientes a la energía, y dentro de estos, los costes correspondientes a la producción de electricidad, y los asociados al resto del consumo de energía final

⁴⁴ En este apartado los LEC se refieren a la energía final consumida.

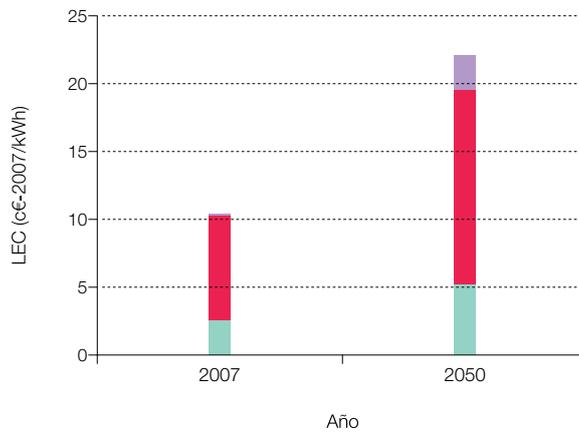
Para cubrir la demanda BAU, el ahorro proporcionado por la opción del mix 100 % renovable frente al mix BAU asciende en valor promedio a 55.556 M€-2007/a.

(principalmente dominados por los combustibles fósiles, pero con contribuciones de biomasa y solar térmica).

En la figura 218 se recoge la estructura del LEC total del sistema energético para el contexto BAU.

Figura 218 Estructura de los LEC para suministro del total de energía final en el contexto de demanda BAU con generación BAU, y para los años 2007 y 2050. El LEC viene expresado en términos de energía final suministrada.

- Emisiones
- Resto
- Electricidad



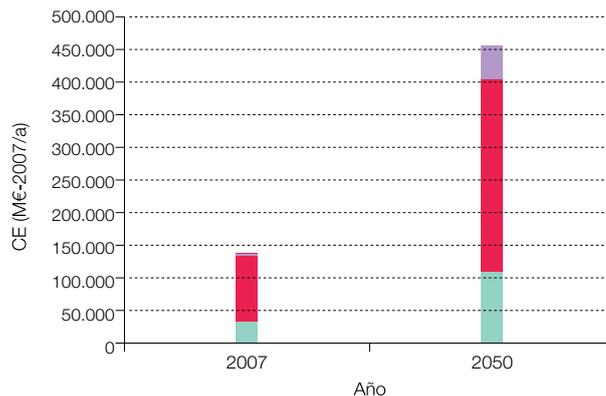
El considerable incremento del coste específico en el año 2050 es consecuencia principalmente de la inflación incremental a la que se ven sometidos los combustibles fósiles. Además, para el año 2050, el coste específico de las emisiones es superior, ya que se considera que para entonces no hay asignación gratuita de derechos de emisión y que todos los sectores deben pagar por sus emisiones. Por otro lado, aunque el coste específico de la electricidad es superior al del resto de componentes energéticos, en el año 2050 la diferencia ya es pequeña, como consecuencia de la estabilización de los precios que tiene la contribución renovable en el sistema

eléctrico incluso con este sistema de generación BAU. De todas formas, en este contexto la electricidad es un componente secundario del coste total, dominando el resto de formas de energía final suministradas (principalmente los combustibles fósiles). Por todo ello, para 2050 cabe esperar que el LEC total del sistema energético sea más del doble del que había en 2007.

La figura 219 recoge la estructura del coste total de energía normalizado. Como puede verse, los efectos combinados de la inflación de los combustibles y el incremento de la demanda conducirían a triplicar el coste total en el año 2050 respecto al del año 2007.

Figura 219 Estructura del coste total normalizado asociado al suministro de energía final en el contexto de demanda BAU con generación BAU, y para los años 2007 y 2050.

- Emisiones
- Resto
- Electricidad



En el caso de cobertura de la demanda BAU en 2050 con energías renovables, en la estructura de costes se diferencia el coste asociado a la acumulación y generación de hidrógeno, dado que en el caso de inclinarse por un sistema energético que se apoyara en el hidrógeno como vector energético sería preciso desarrollar esta estructura de acumulación como consecuencia del cambio. El otro elemento diferenciado en la estructura de costes (total excepto hidrógeno), incluye los otros componentes de coste del sistema energético (generación eléctrica, combustibles, etc.).

Las figuras 221, 222 y 223 muestran el LEC y el coste total, para el caso en que se incluye la hibridación termosolar⁴⁵. La diferencia entre los casos sin y con hibridación termosolar es escasa, motivo por el cual sería recomendable incluir la hibridación de cara a incrementar la seguridad de suministro del sistema eléctrico, a pesar de que en este caso es redundante⁴⁶ y contribuye tan solo a incrementar la seguridad de suministro en el sistema eléctrico.

Figura 220 Coste específico (LEC) del conjunto del sistema energético con demanda BAU y cobertura 100% renovable para los años 2007 y 2050. El LEC se expresa por unidad de energía final. Aparece diferenciada la contribución de la acumulación y generación de hidrógeno. Caso incluyendo hibridación termosolar para aumentar la seguridad de suministro del sistema eléctrico.

- Acumulación hidrógeno
- Generación hidrógeno
- Total excepto hidrógeno

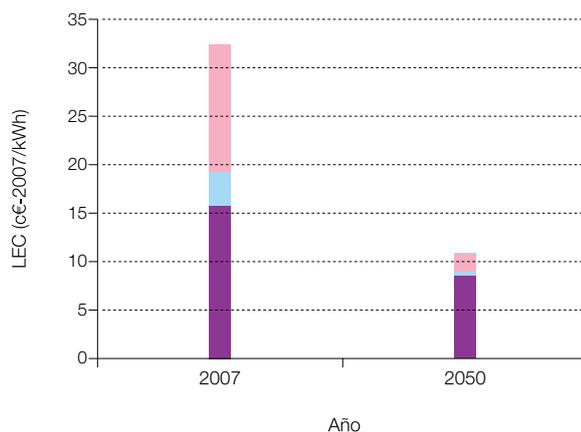
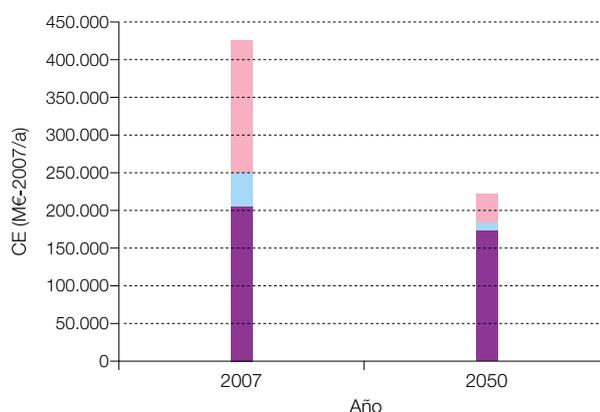


Figura 221 Coste total del conjunto del sistema energético con demanda BAU y cobertura 100% renovable para los años 2007 y 2050. Aparece diferenciada la contribución de la acumulación y generación de hidrógeno. Caso incluyendo hibridación termosolar para aumentar la seguridad de suministro del sistema eléctrico.

- Acumulación hidrógeno
- Generación hidrógeno
- Total excepto hidrógeno



⁴⁵ Plantas híbridas termosolares, donde se utiliza biomasa/biogás como combustible de apoyo.

⁴⁶ Porque para el contexto BAU, debido a la gran demanda de hidrógeno, se requiere un gran sobredimensionado del parque generador respecto a la demanda de electricidad directa, lo cual trae como consecuencia que para la cobertura de la demanda eléctrica no sea precisa la capacidad de regulación que proporciona la hibridación termosolar.



Detalle de radiador doméstico utilizado dentro del sistema de calefacción de carbón en un domicilio de Madrid.

De estos resultados se puede extraer la conclusión del elevado peso relativo de la acumulación de hidrógeno sobre la estructura de costes del sistema energético al inicio del escenario, debido principalmente al coste específico de la acumulación de hidrógeno y al volumen de acumulación de hidrógeno requerido en el contexto BAU como consecuencia de la alta demanda de hidrógeno. En el año 2050 el peso relativo asociado a la acumulación de hidrógeno se reduce de forma muy significativa, como consecuencia principalmente de la reducción del coste específico de acumulación de hidrógeno, y por la mayor electrificación del sistema energético.

Por último, se muestra una comparativa de los costes entre la generación BAU y la generación renovable.

Las figuras 222 y 223 recogen la comparativa de costes del contexto BAU al emplear una generación BAU o una generación 100% renovable, tanto en términos de LEC como de coste total. No se ha incluido, para el caso de suministro 100% renovable, el coste correspondiente a la acumulación de hidrógeno (aunque sí los correspondientes a la generación de hidrógeno), porque para el caso de generación BAU tampoco se incluyen los costes asociados al almacenamiento de combustibles fósiles. Por otro lado, los costes del caso con generación 100% renovable incluyen los costes de la hibridación termosolar.

Figura 222 Comparativa de los LEC del suministro de energía final total, en el contexto de demanda BAU, y con generación BAU y 100% renovable. El coste 100% renovable no incluye el coste asociado a la acumulación de hidrógeno, aunque sí a su generación.

● Mix BAU
● 100% Renovables

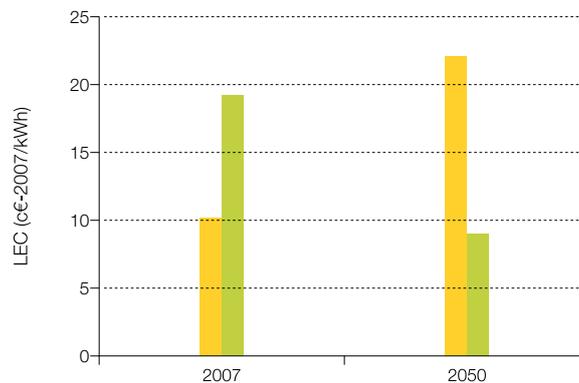
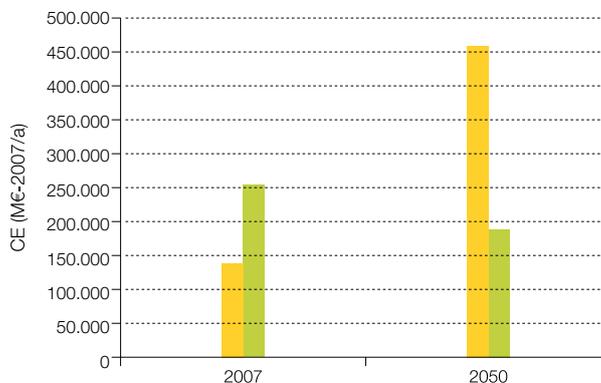


Figura 223 Comparativa de los costes normalizados totales asociados al suministro de energía final total, en el contexto de demanda BAU, y con generación BAU y 100% renovable. El coste 100% renovable no incluye el coste asociado a la acumulación de hidrógeno, aunque sí a su generación.

● Mix BAU
● 100% Renovables



En términos de coste específico (LEC) se ve cómo en el año 2007 la solución basada en energías renovables resulta considerablemente más cara que la del mix BAU, ya que el LEC del año 2007 para el

caso de la generación 100% renovable se encuentra considerablemente afectado por la inversión asociada a la infraestructura de generación de hidrógeno, que se usa con un factor de capacidad relativamente bajo. Sin

embargo, en el año 2050 las tendencias se invierten, y la solución 100 % renovable permite estabilizar el coste de la energía en valores inferiores a los del mix BAU en el año 2007. En valor medio en el periodo 2007-2050, la solución con generación 100 % renovable también resulta más económica (la opción del mix BAU conduce a un LEC de 16.3 c€/2007/kWh, mientras que la opción del mix 100 % renovable conduce a un LEC de 14,4 c€/2007/kWh), pero lo más importante es que a partir del año 2050 la solución basada en generación 100 % renovable presenta unos costes estables en el tiempo, mientras que la correspondiente al mix BAU seguirá siendo cada vez más cara. Por tanto, incluso en el caso del contexto BAU de demanda, la solución basada en una generación 100 % renovable resulta muy ventajosa desde una perspectiva económica respecto a la alternativa de mantener el mix BAU.

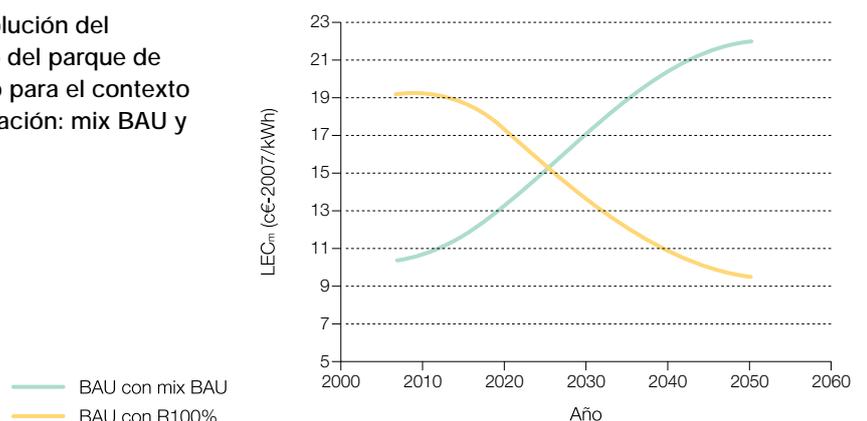
En cuanto a los costes totales, se ve cómo en el año 2050, y a pesar del crecimiento de la demanda, la generación 100 % renovable proporciona un coste total del abastecimiento energético inferior al del año 2007 con generación 100 % renovable, y tan solo ligeramente superior al coste del año 2007 con mix BAU.

Si se incluyen los costes correspondientes a la acumulación del hidrógeno, la opción 100 % renovable en el año 2007 se ve fuertemente penalizada, tanto a nivel de LEC como de coste total, si bien en el año 2050 la diferencia es mucho más pequeña como consecuencia de la reducción de los costes específicos de acumulación de hidrógeno. La opción 100 % renovable sigue siendo más favorable a largo plazo, pero dada la necesidad de esta nueva infraestructura de acumulación de hidrógeno, parece conveniente limitar la participación del hidrógeno⁴⁷ en la cobertura de la demanda durante los primeros años, hasta que se reduzca el coste de acumulación.

11.3.4 Evolución temporal de costes

La figura 224 recoge la comparativa directa entre los LEC promedio del parque de generación existente en cada año (LEC_m) para el contexto de demanda BAU y los dos casos de mix BAU y mix 100 % renovable. Como se ve, en torno al año 2025 ya se alcanzaría una paridad de costes, y a partir de este instante la opción del mix 100 % renovable proporcionaría unos ahorros rápidamente crecientes que se prolongarían indefinidamente más allá del año 2050.

Figura 224 Comparación de la evolución del LEC correspondiente al promedio del parque de generación existente en cada año para el contexto BAU y las dos opciones de generación: mix BAU y 100% renovables.



En la figura 224 se aprecia la ventaja en términos de estabilización y reducción de costes futuros del sistema energético que proporciona la opción del mix 100 % renovable frente al mix BAU. Esta es una de las mayores

contribuciones de los modelos basados en energías renovables. A partir del año 2050 hacia adelante, haber acometido este proceso de reconversión del mix BAU hacia el sistema 100 % renovable, deja una situación con

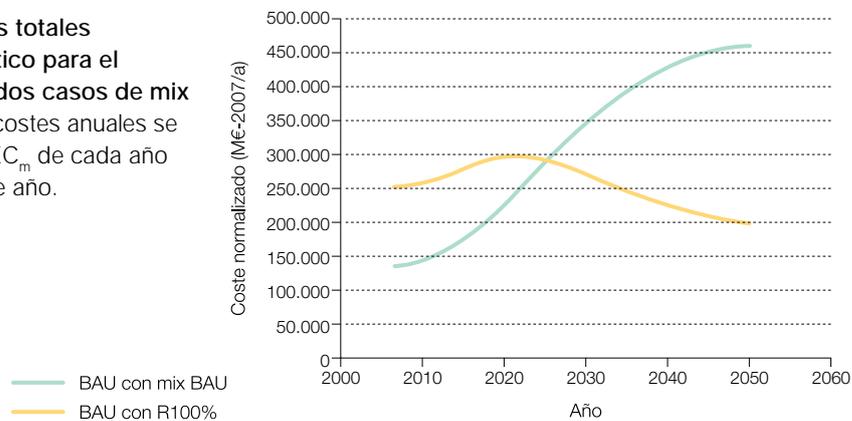
⁴⁷ Para ello, la primera opción es la eficiencia para limitar la demanda de energía final, y en segundo lugar, la sustitución parcial y temporal del hidrógeno mediante un mayor uso de biomasa en las etapas iniciales.

La eficiencia del contexto E3.0 proporciona una reducción muy importante de la infraestructura energética necesaria, tanto para generación de electricidad como para generación y acumulación de hidrógeno.

unos costes estables de la energía final suministrada del orden de 8.9 c€/2007/kWh, frente al escenario al que conduciría seguir con el mix BAU con unos costes en 2050 de 22.0 c€/2007/kWh, que aún seguirían subiendo en los años futuros a medida que fuera aumentando la escasez de los recursos energéticos.

Si se cruzan estos resultados con los del escenario de evolución temporal de la demanda BAU, se obtiene una estimación de la evolución de los costes totales del sistema energético a lo largo del periodo considerado, tal como muestra la figura 225.

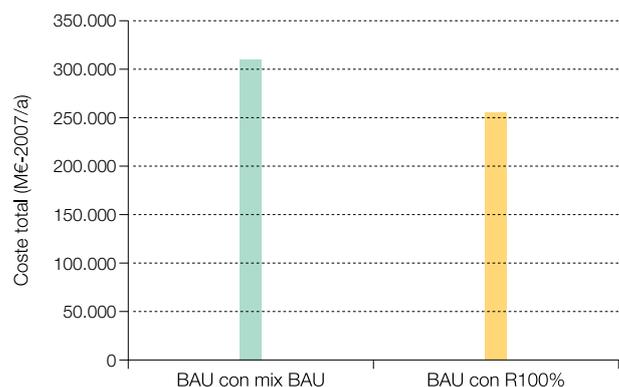
Figura 225 Evolución de los costes totales normalizados del sistema energético para el contexto de demanda BAU y los dos casos de mix BAU y mix 100% renovable. Los costes anuales se han obtenido como producto del LEC_m de cada año por el escenario de demanda en ese año.



Como se puede observar, para el mix de generación 100% renovable se alcanza un máximo del coste total hacia el año 2022, consecuencia de la tendencia creciente de la demanda y la decreciente de los costes específicos, unos pocos años antes de alcanzar la paridad de costes con el mix BAU (año 2025). Sin embargo, este máximo del mix 100% renovable es muy inferior al coste total que alcanza el mix BAU en el año 2050.

En términos del coste anual promedio en el periodo de tiempo considerado (2007–2050), la figura 226 recoge la comparativa entre los mix BAU y mix 100% renovable, y muestra el ahorro proporcionado por la opción del mix 100% renovable frente al mix BAU, que asciende en valor promedio a 55.556 M€-2007/a.

Figura 226 Coste anual total normalizado promedio en el periodo 2007–2050 para el contexto de demanda BAU y las dos opciones de generación caracterizadas por el mix BAU y el mix 100% renovable.



Por tanto, producir el cambio del modelo del sistema de generación desde el mix BAU a un mix 100% renovable, no solo da acceso a unos costes del suministro de energía estables y muy inferiores en el futuro, sino que además, en el periodo de implantación del nuevo sistema de generación, **sale más barato**. Es decir, la transición del sistema de generación proporciona un ahorro neto en el periodo de desarrollo.

11.4

Cobertura de demanda en el escenario de eficiencia

En este punto se recogen los resultados del análisis de la cobertura de la demanda para el contexto E3.0. Se trata de una demanda eficiente, y por tanto más reducida que en el caso BAU.

Se han considerado dos casos para el análisis de la cobertura de la demanda:

- Cobertura de la demanda desde el lado de la oferta.
- Cobertura con gestión de la demanda.

11.4.1 Cobertura desde el lado de la oferta

En este caso, la cobertura de la demanda se aborda con un sistema energético operado desde el lado de la oferta. Esto quiere decir que el sistema se regula actuando exclusivamente sobre la generación y no sobre la demanda⁴⁸ que, en cualquier caso, incluye ya todas las medidas de eficiencia propias del contexto E3.0.

La regulación de este sistema energético contaría con las siguientes herramientas de flexibilidad:

- La capacidad de regulación a la baja de toda la potencia no gestionable instalada en el sistema, es decir, la reducción de la potencia de los generadores eólicos y fotovoltaicos cuando se requiera. Como el planteamiento es el de un sistema energético integrado, en vez de dejar de producir esa energía disponible excedentaria, se aprovecha para la producción de hidrógeno, que es necesaria para cubrir aquellos componentes de consumo de energía final que no pueden cubrirse con electricidad y que no se encuentran cubiertos con biomasa o solar térmica.
- Las capacidades de acumulación y potencias ofrecidas por las centrales termosolares, que incorporan una capacidad de almacenamiento térmico de 15 horas.
- La capacidad de acumulación de la hidroeléctrica regulada.
- La hibridación termosolar directa (centrales termosolares que utilizan biomasa/biogás como combustible de apoyo).
- Las centrales de biomasa.
- La potencia geotérmica.

A continuación se presentan los resultados del análisis de la cobertura de la demanda para el caso correspondiente a la cobertura total de la demanda del contexto E3.0. Para facilitar la comparación con el caso asociado a la cobertura total de la demanda del contexto BAU con generación 100% renovable, se ha limitado la capacidad de acumulación del sistema eléctrico a 3 TWh, igual en ambos casos.⁴⁹

Las figuras 227 y 228 presentan la estructura de la potencia instalada y la generación eléctrica para este caso (cobertura total demanda E3.0 en el año 2050 sin gestión de la demanda):

⁴⁸ La recarga de los vehículos eléctricos se realiza en horario nocturno, como se haría en un sistema convencional.

⁴⁹ Aunque la capacidad de acumulación que podría estar disponible con las potencias instaladas de termosolar e hidroeléctrica sería de 21 TWh. A diferencia del caso anterior, esta capacidad de acumulación, que sigue siendo mayoritariamente hidroeléctrica, en el contexto E3.0 queda al servicio de los requerimientos de regulación del sistema energético.

En el caso de la cobertura con gestión de la demanda en el contexto E3.0, la recarga de los vehículos eléctricos ya no es nocturna con horario prefijado, sino que se adaptan mutuamente la recarga a la demanda de movilidad y viceversa.

Figura 227 Distribución de la potencia instalada en el caso dimensionado para cubrir la demanda total del contexto E3.0 en el año 2050. $SM = 2.25$; $SF_{eléctrica} = 100\%$; $SF_{tot} = 100\%$; $F_{disipada} = 0\%$; $C = 3 \text{ TWh}$; $CF_{global} = 37.7\%$; $A_{territorio} = 4.3\%$.

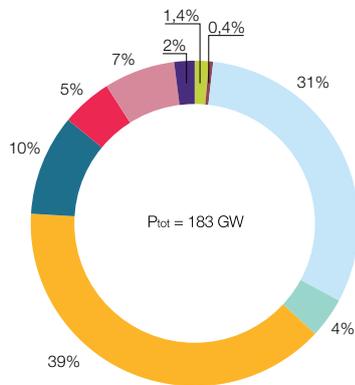
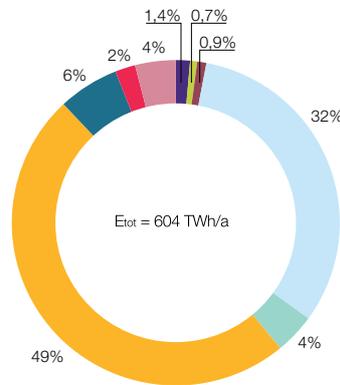


Figura 228 Distribución de la generación en el caso dimensionado para cubrir la demanda total del contexto E3.0 en el año 2050. $SM = 2.25$; $SF_{eléctrica} = 100\%$; $SF_{tot} = 100\%$; $F_{disipada} = 0\%$; $C = 3 \text{ TWh}$; $CF_{global} = 37.7\%$; $A_{territorio} = 4.3\%$.



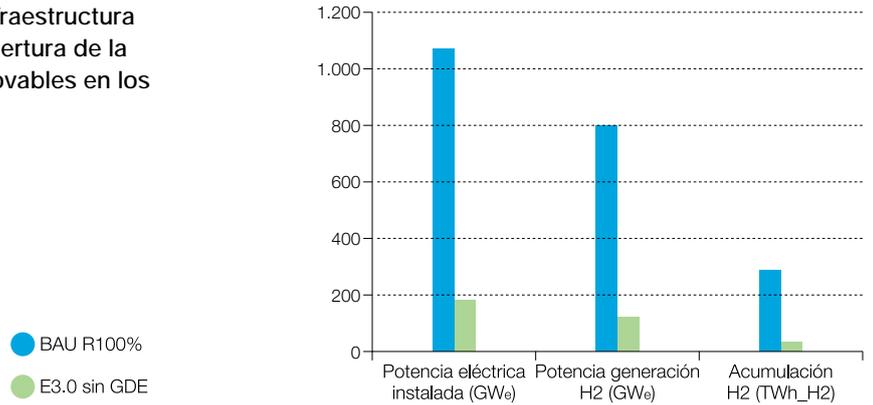
De la potencia termosolar instalada, aproximadamente la mitad es híbrida con biomasa, y queda la otra mitad de la potencia termosolar como reserva de flexibilidad del sistema de generación para ser hibridada en caso necesario.

En cuanto al bombeo hidroeléctrico, no se requiere su participación. Pero dado que actualmente ya se cuenta con una capacidad de bombeo hidroeléctrico que proporciona 1.5 TWh / 3.7 GW de capacidad de regulación, este componente puede entenderse como un elemento adicional de seguridad de suministro, que estaría listo para incorporarse a la operación del sistema si se requirieran servicios de regulación adicionales.

Si se compara la infraestructura energética necesaria para la cobertura de la demanda de energía total con generación renovable en los contextos BAU y E3.0

para el año 2050, en la figura 229 se puede apreciar que la eficiencia del contexto E3.0 proporciona una reducción muy importante de la infraestructura energética necesaria, tanto para generación de electricidad como para generación y acumulación de hidrógeno, y eso a pesar del hecho de que ahora, para el contexto E3.0, la demanda eléctrica directa incluye la gran mayoría de la demanda de energía del sector transporte, mientras que en el contexto BAU la cobertura de la demanda del subsector transporte a través de electricidad era prácticamente nula. Por tanto, una de las ventajas del contexto E3.0 respecto al BAU es la integración del transporte en el sistema eléctrico, lo que se traduce en que tanto el SM como la fracción de electricidad disipada por el sistema eléctrico y empleada para la generación de hidrógeno son muy inferiores en el contexto E3.0 que en el BAU.

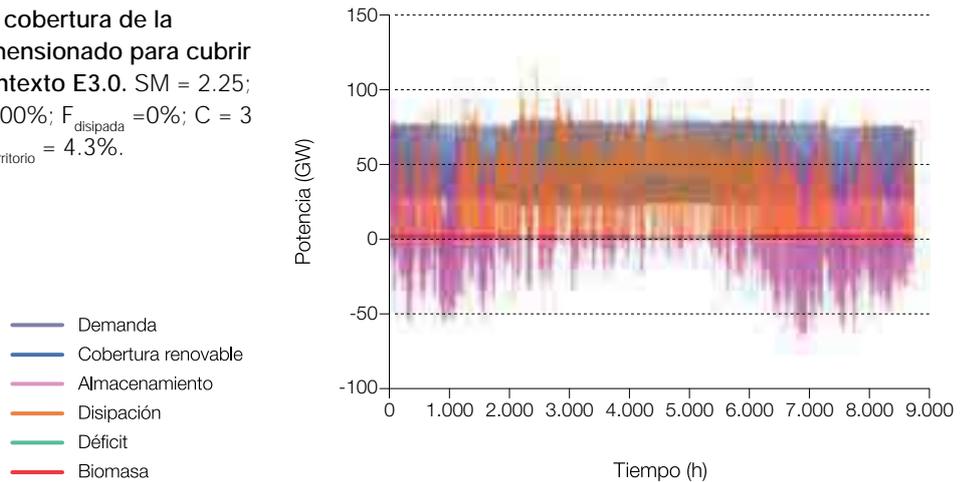
Figura 229 Comparación de la infraestructura energética necesaria para la cobertura de la demanda total con energías renovables en los contextos BAU y E3.0.



En la figura 230 se recogen los resultados del análisis de la cobertura de la demanda para este caso. Como se puede observar, la demanda eléctrica se cubre completamente, y la disipación (energía excedentaria) del sistema eléctrico tiene una distribución homogénea a lo largo del año, lo que proporciona la capacidad

de generación necesaria para cubrir la demanda de hidrógeno del sistema. Destaca también el bajo múltiplo solar necesario ($SM = 2.25$), lo que reduce significativamente los requerimientos de ampliación de la red de transporte eléctrico. También se reduce la biomasa necesaria a 14 TWh/a.

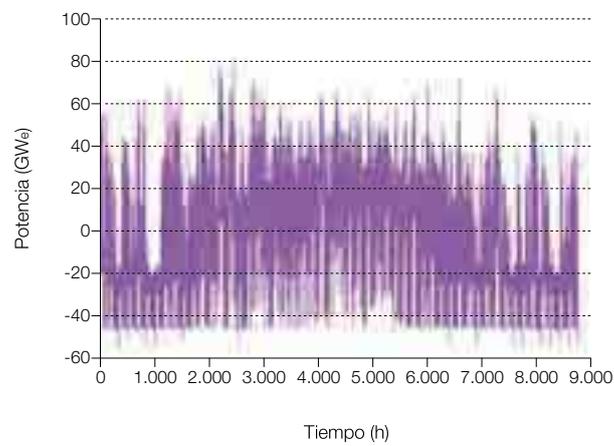
Figura 230 Análisis de la cobertura de la demanda con el mix dimensionado para cubrir la demanda total del contexto E3.0. $SM = 2.25$; $SF_{eléctrica} = 100\%$; $SF_{tot} = 100\%$; $F_{disipada} = 0\%$; $C = 3$ TWh; $CF_{global} = 37.7\%$; $A_{territorio} = 4.3\%$.



Por lo que respecta a la acumulación de hidrógeno, la figura 231 recoge las potencias de carga y descarga

de la acumulación de hidrógeno (en términos eléctricos equivalentes):

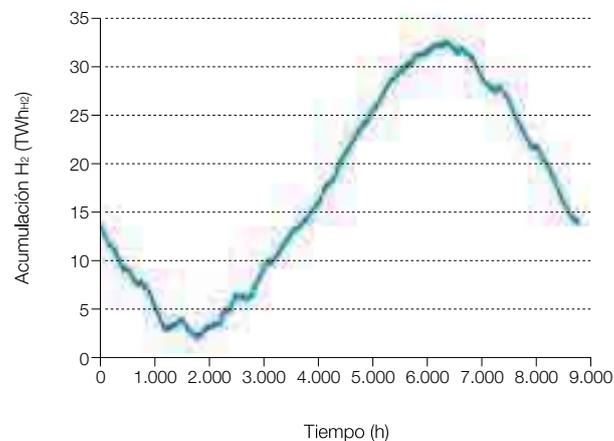
Figura 231 Evolución de las potencias de carga y descarga de la acumulación de hidrógeno con el mix dimensionado para cubrir la demanda total del contexto E3.0. $SM = 2.25$; $SF_{\text{eléctrica}} = 100\%$; $SF_{\text{tot}} = 100\%$; $F_{\text{disipada}} = 0\%$; $C = 3 \text{ TWh}$; $CF_{\text{global}} = 37.7\%$; $A_{\text{territorio}} = 4.3\%$.



La figura 232 recoge la evolución del estado de carga de la acumulación de hidrógeno necesaria para integrar toda la potencia disipada por el sistema de generación eléctrica. La capacidad de acumulación de hidrógeno necesaria es de $33 \text{ TWh}_{\text{H}_2}$, que corresponde a una

reserva de 102 días. La carga mínima de la acumulación de hidrógeno es de $2 \text{ TWh}_{\text{H}_2}$, equivalente a seis días de acumulación. Estas capacidades de acumulación de hidrógeno son muy inferiores a las que se requerían en el contexto BAU.

Figura 232 Evolución del estado de carga de la acumulación de hidrógeno con el mix dimensionado para cubrir la demanda total del contexto E3.0. $SM = 2.25$; $SF_{\text{eléctrica}} = 100\%$; $SF_{\text{tot}} = 100\%$; $F_{\text{disipada}} = 0\%$; $C = 3 \text{ TWh}$; $CF_{\text{global}} = 37.7\%$; $A_{\text{territorio}} = 4.3\%$.



11.4.2 Cobertura con gestión de la demanda

En este punto se analiza la cobertura de la demanda en el contexto E3.0 con participación de la demanda en la operación del sistema.

A diferencia del caso anterior, en este caso la recarga de los vehículos eléctricos ya no es nocturna con horario prefijado, sino que se adaptan mutuamente la recarga a la demanda de movilidad y viceversa,

según las posibilidades del sistema de generación y aportando una interacción bidireccional (V2G) con el sistema eléctrico gestionada a través de las baterías de acumulación de los vehículos eléctricos.

En las figuras 233 y 234 se reproducen la distribución de potencia eléctrica instalada y de generación eléctrica en un mix dimensionado para la cobertura total de la demanda en el contexto E3.0 para el año 2050 con participación de la gestión de la demanda.

Figura 233 Distribución de la potencia instalada para el caso dimensionado para la cobertura de la demanda total en el contexto E3.0 para el año 2050 con participación de la gestión de la demanda. $SM = 2.59$; $SF_{eléctrica} = 100\%$; $SF_{tot} = 100\%$; $F_{disipada} = 0\%$; $CF_{global} = 38.7\%$; $C = 23.72$ TWh; $A_{territorio} = 4.2\%$.

- Eólica tierra
- Eólica mar
- Termosolar
- Hidroeléctrica
- Fotovoltaica edificios
- Fotovoltaica suelo
- Olas
- Biomasa
- Geotérmica

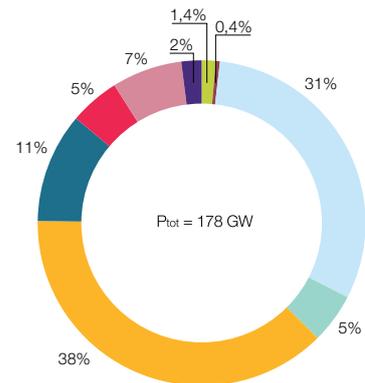
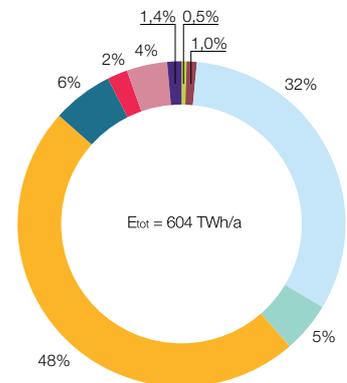


Figura 234 Distribución de la generación eléctrica para el caso dimensionado para la cobertura de la demanda total en el contexto E3.0 para el año 2050 con participación de la gestión de la demanda. $SM = 2.59$; $SF_{eléctrica} = 100\%$; $SF_{tot} = 100\%$; $F_{disipada} = 0\%$; $CF_{global} = 38.7\%$; $C = 23.72$ TWh; $A_{territorio} = 4.2\%$.

- Eólica tierra
- Eólica mar
- Termosolar
- Hidroeléctrica
- Fotovoltaica edificios
- Fotovoltaica suelo
- Olas
- Biomasa
- Geotérmica



Según las conclusiones del modelo Energía 3.0, el gran exceso de capacidad de acumulación disponible para el sistema eléctrico proporciona otra confirmación de la seguridad de suministro obtenida.

Este caso añade una mayor capacidad de regulación del sistema eléctrico (flexibilidad), que se materializa en la capacidad de acumulación y potencia de regulación

disponible. En las figuras 235 y 236 se recoge el reparto de capacidad de regulación, en términos de acumulación y de potencia.

Figura 235 Capacidad de acumulación a disposición del sistema eléctrico para el caso con gestión de la demanda.

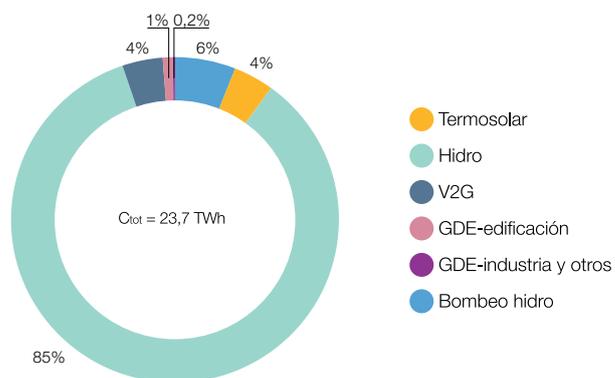
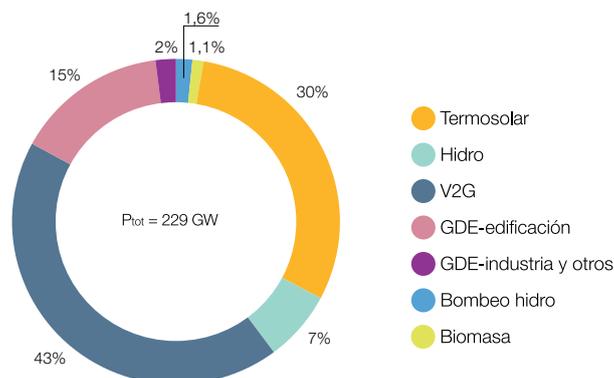


Figura 236 Potencia de regulación gestionable a disposición del sistema eléctrico para el caso con gestión de la demanda.



Las nuevas aportaciones a la capacidad de acumulación del sistema eléctrico son las correspondientes a la capacidad disponible para el sistema de las baterías de los vehículos eléctricos (V2G), y la gestión de la demanda, básicamente en el sector edificación y en el sector industrial⁵⁰.

Donde se ve la contribución real de la gestión de la demanda a la flexibilización del sistema energético es en el gran incremento de potencia de regulación disponible. La disponibilidad de potencia de regulación está dominada por la participación de los elementos de gestión de la demanda, entre los que destaca de forma

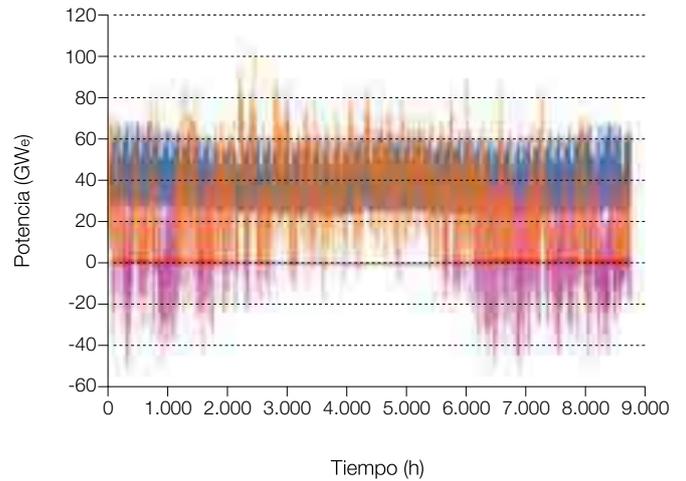
importante la interacción bidireccional de los vehículos eléctricos con el sistema eléctrico (V2G).

La figura 237 recoge el resultado del análisis de la cobertura de la demanda para este caso. Se observa cómo las potencias de regulación utilizadas a lo largo de todo el año quedan muy por debajo de la disponibilidad que proporcionan los elementos de flexibilidad del mix de generación (229 GW_e). Por tanto, la hibridación termosolar es innecesaria, y a pesar de no incorporarla, el gran exceso de potencia de regulación disponible proporciona una muy elevada seguridad de suministro.

⁵⁰ Se puede actuar sobre la demanda de calor/frío de los edificios, subiendo o bajando el punto de consigna de los termostatos, sin afectar apreciablemente al confort. Actuaciones análogas son factibles en los sistemas de producción de frío y en la industria. De este modo, todos ellos sirven como acumuladores de energía distribuida, en forma de calor/frío, disponible para el sistema.

Figura 237 Análisis de la cobertura de la demanda para el caso dimensionado para la cobertura de la demanda total en el contexto E3.0 para el año 2050 con participación de la gestión de la demanda. SM = 2.59; SF_{eléctrica} = 100%; SF_{tot} = 100%; F_{dissipada} = 0%; CF_{global} = 38.7%; C = 23.72 TWh; A_{territorio} = 4.2%.

- Demanda
- Cobertura renovable
- Almacenamiento
- Disipación
- Déficit
- Biomasa

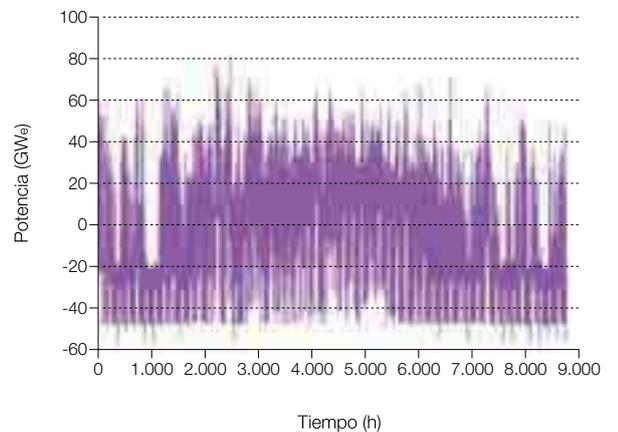


El estado de carga de la acumulación eléctrica permanece prácticamente lleno todo el año. Incluso a principio y final del año, en el que se producen unas descargas mayores de la capacidad de acumulación, estas descargas apenas alcanzan el 3% de la capacidad de acumulación disponible (por lo que el bombeo hidroeléctrico resulta redundante). Este resultado confirma una vez más que los requerimientos de regulación de un sistema de generación basado en energías renovables son fundamentalmente en términos de potencia, y no en términos de capacidad de acumulación. Adicionalmente,

el gran exceso de capacidad de acumulación disponible para el sistema eléctrico proporciona otra confirmación de la seguridad de suministro obtenida.

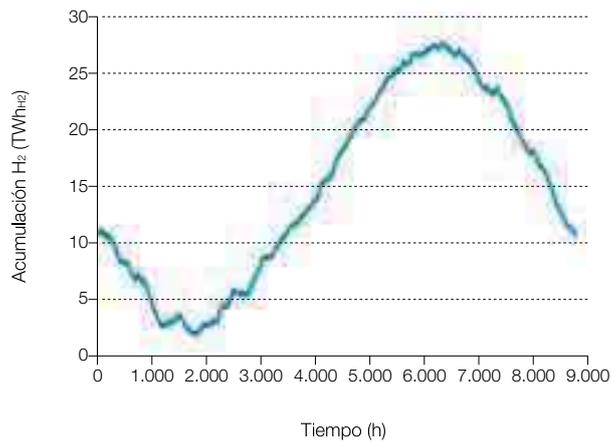
En cuanto a la acumulación de hidrógeno, las figuras 238 y 239 muestran la evolución de las potencias de carga y descarga del sistema de acumulación de hidrógeno, así como la evolución del estado de carga del mismo. La capacidad requerida de la acumulación de hidrógeno es de 27.7 TWh_{H₂} (equivalente a una reserva de 87 días), y alcanza una carga mínima de 2 TWh_{H₂} (equivalente a una reserva de seis días).

Figura 238 Evolución de las potencias de carga y descarga del sistema de acumulación de hidrógeno, en términos eléctricos equivalentes, para el caso dimensionado para la cobertura de la demanda total en el contexto E3.0 para el año 2050 con participación de la gestión de la demanda. SM = 2.59; SF_{eléctrica} = 100%; SF_{tot} = 100%; F_{dissipada} = 0%; CF_{global} = 38.7%; C = 23.72 TWh; A_{territorio} = 4.2%.



En el año 2050, la diferencia de costes entre el contexto BAU y E3.0 se hace mucho mayor, lo que deja un margen muy grande de recursos económicos para dedicar a medidas de eficiencia e inteligencia.

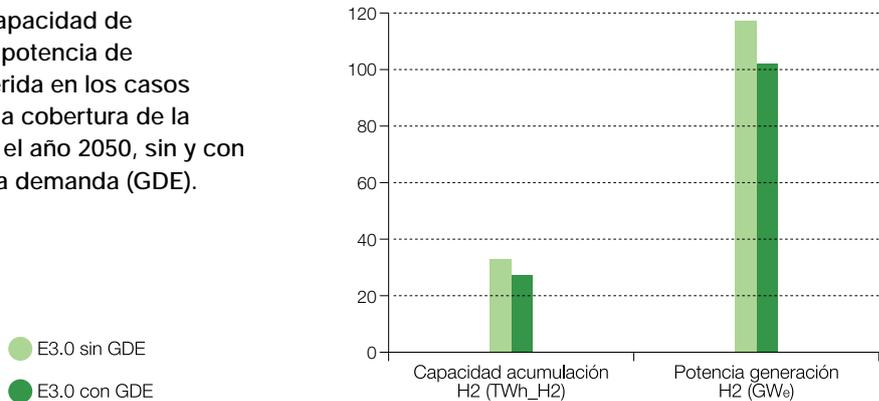
Figura 239 Evolución del estado de carga del sistema de acumulación de hidrógeno para el caso dimensionado para la cobertura de la demanda total en el contexto E3.0 para el año 2050 con participación de la gestión de la demanda. $SM = 2.59$; $SF_{eléctrica} = 100\%$; $SF_{tot} = 100\%$; $F_{disipada} = 0\%$; $CF_{global} = 38.7\%$; $C = 23.72$ TWh; $A_{territorio} = 4.2\%$.



En cuanto a la gestión del hidrógeno, la figura 240 permite comparar directamente los requerimientos de regulación de hidrógeno, en términos de potencia de generación y de capacidad de acumulación, para los casos de los

mix sin y con participación de la gestión de la demanda, respectivamente. Gracias a la gestión de la demanda, se necesita menos potencia de generación de hidrógeno y menos capacidad de acumulación del mismo.

Figura 240 Comparativa de la capacidad de acumulación de hidrógeno y la potencia de generación de hidrógeno requerida en los casos de los mix correspondientes a la cobertura de la demanda en el contexto E3.0 y el año 2050, sin y con participación de la gestión de la demanda (GDE).



Por último se muestran los resultados de un caso similar al anterior (mix dimensionado para la cobertura de la demanda total en el contexto E3.0 y año 2050, con participación de la gestión de la demanda), en el que además se integran las capacidades de acumulación eléctrica y de hidrógeno, con el fin de reducir los requerimientos de infraestructura para generación de hidrógeno.

acumulación total también es la misma, pero ahora se encuentra integrada la capacidad de acumulación del sistema eléctrico (23.72 TWh) con la del sistema de acumulación de hidrógeno, que en términos eléctricos corresponde a 58.5 TWh, dando un total de capacidad de acumulación disponible para el conjunto del sistema energético de 82.2 TWh.

Para este análisis se utiliza el mismo mix de generación del caso anterior, pues la demanda total de electricidad a cubrir sigue siendo la misma, y la capacidad de

Las figuras 241 y 242 muestran, respectivamente, el resultado del análisis de la cobertura de la demanda en este caso y la evolución de la capacidad de acumulación total del sistema energético.

Figura 241 Análisis de la cobertura de la demanda para el caso dimensionado para la cobertura de la demanda total en el contexto E3.0 para el año 2050 con participación de la gestión de la demanda e integración de la gestión de acumulación del sistema eléctrico y del sistema de hidrógeno. $SM = 2.59$; $SF_{el\acute{e}ctrica} = 100\%$; $SF_{tot} = 100\%$; $F_{disipada} = 0\%$; $CF_{global} = 38.7\%$; $C = 82.2$ TWh; $A_{territorio} = 4.2\%$.

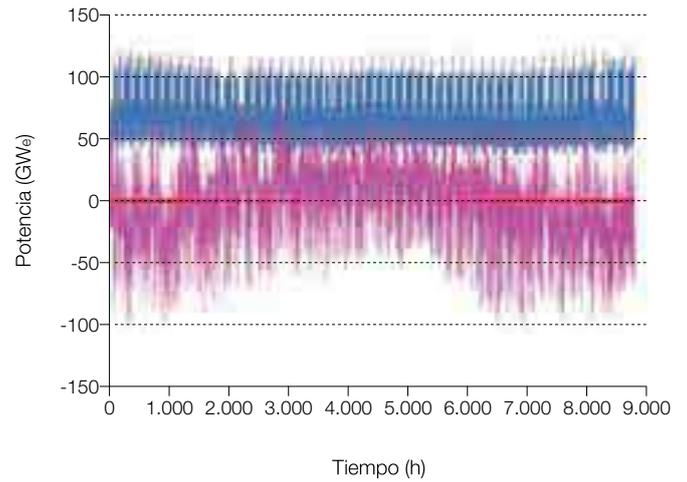
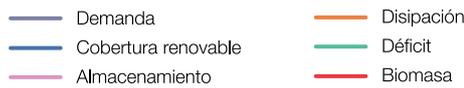
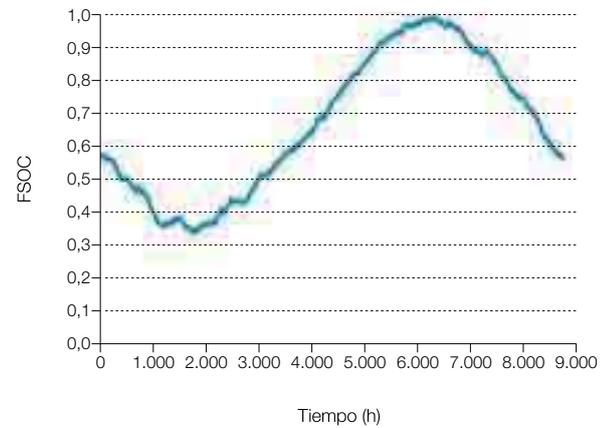


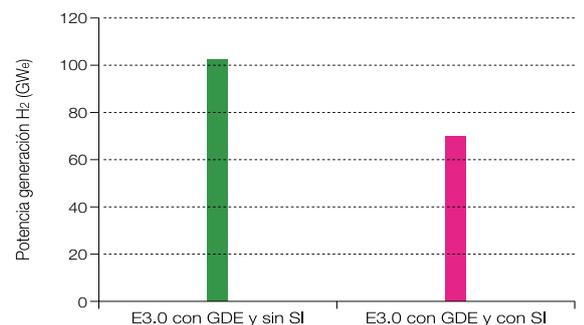
Figura 242 Evolución del estado de carga (FSOC) de la capacidad de acumulación total puesta a disposición del sistema energético, para el caso dimensionado para la cobertura de la demanda total en el contexto E3.0, para el año 2050, con participación de la gestión de la demanda e integración de la gestión de acumulación del sistema eléctrico y del sistema de hidrógeno. $SM = 2.59$; $SF_{el\acute{e}ctrica} = 100\%$; $SF_{tot} = 100\%$; $F_{disipada} = 0\%$; $CF_{global} = 38.7\%$; $C = 82.2$ TWh; $A_{territorio} = 4.2\%$.



En la figura 243 se muestran comparados los requerimientos de potencia de generación de hidrógeno a instalar, y se aprecia una significativa reducción de

la misma gracias a la integración de la gestión de la acumulación de los subsistemas eléctrico y de hidrógeno.

Figura 243 Comparación entre las potencias requeridas para generación de hidrógeno en los casos correspondientes a la cobertura de la demanda total del contexto E3.0 en el año 2050, con participación de la gestión de la demanda, y sin o con integración de la capacidad de acumulación (SI).



11.4.3 Coste total del sistema energético

En este apartado se presentan los costes totales del sistema energético en el contexto E3.0, que incluyen todos los costes recogidos en los apartados anteriores y añaden la generación y acumulación de hidrógeno.

Como referencia, se muestra la estructura del sistema energético para el contexto E3.0 en el año 2050, en términos de energía final y de energía 'primaria' (si se considera como energía 'primaria' a la electricidad, para apreciar el efecto de la electricidad destinada a la producción de hidrógeno).

Figura 244 Estructura de la demanda de energía final en el contexto E3.0 para el año 2050.

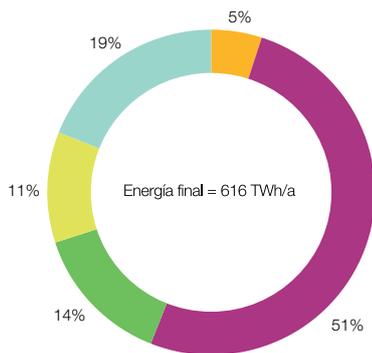
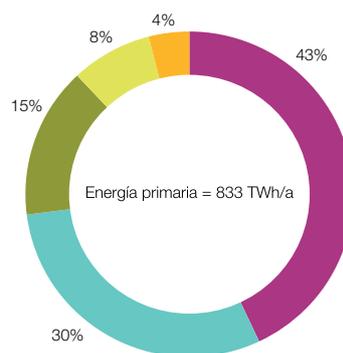


Figura 245 Estructura de la demanda de energía 'primaria' en el contexto E3.0 para el año 2050.



A continuación se presentan los resultados de costes específicos y coste total para el conjunto del sistema energético para el contexto E3.0 en cada uno de los casos considerados: sin gestión de la demanda y con gestión de la demanda.

Figura 246 Costes específicos del conjunto del sistema energético, referidos a la demanda de energía final total, para el contexto E3.0 sin participación de la gestión de la demanda, y para los casos de incluir o no el efecto del coste de la acumulación de hidrógeno.

- Sin almacenamiento H2
- Con almacenamiento H2

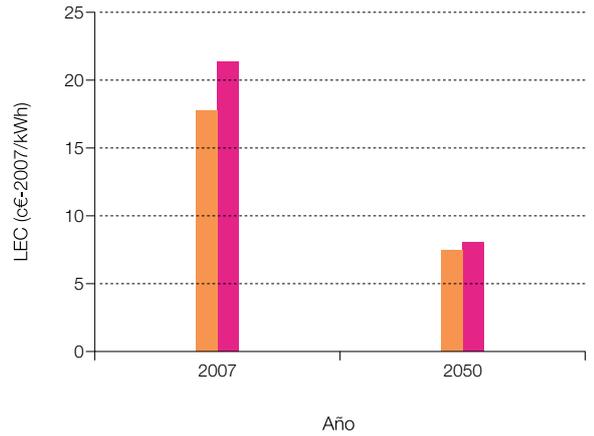


Figura 247 Costes específicos del conjunto del sistema energético, referidos a la demanda de energía final total, para el contexto E3.0 con participación de la gestión de la demanda, y para los casos de incluir o no el efecto del coste de la acumulación de hidrógeno.

- Sin almacenamiento H2
- Con almacenamiento H2

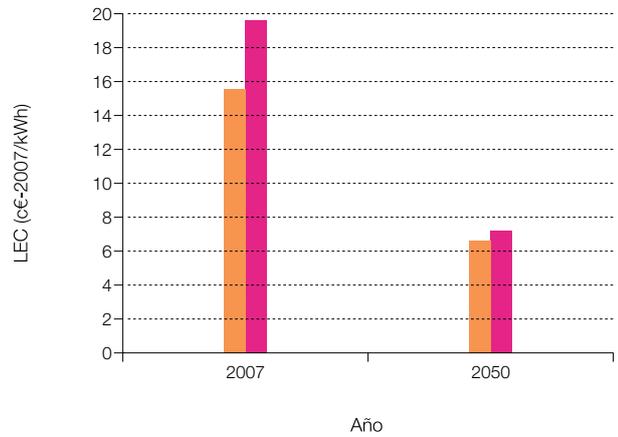
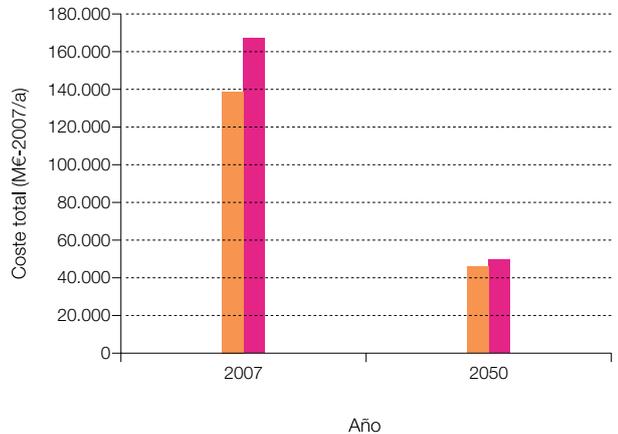


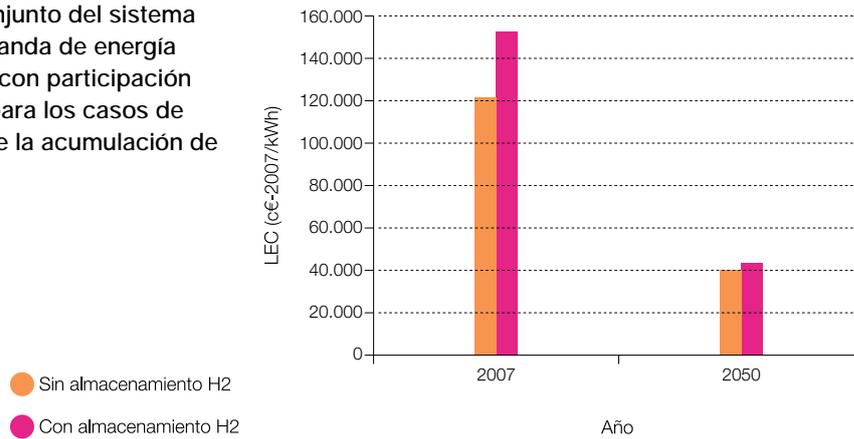
Figura 248 Costes totales del conjunto del sistema energético, referidos a la demanda de energía final total, para el contexto E3.0 sin participación de la gestión de la demanda, y para los casos de incluir o no el efecto del coste de la acumulación de hidrógeno.

- Sin almacenamiento H2
- Con almacenamiento H2



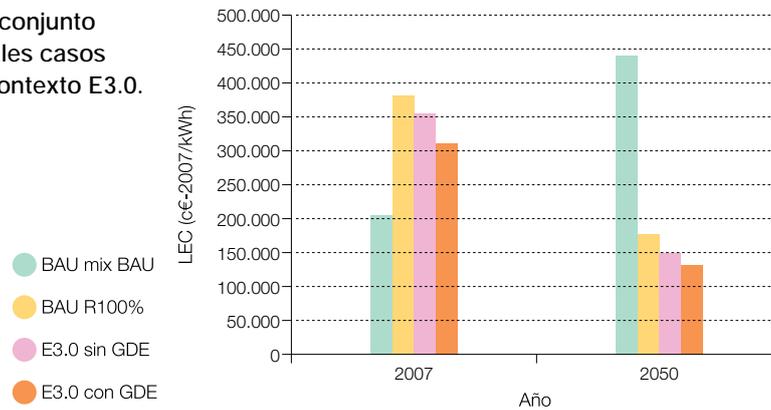
A partir de 2050, una vez completada la transición, los niveles de ahorro asociados a este año permanecen de forma indefinida, y repercuten íntegramente en una mejora de la eficiencia del sistema económico.

Figura 249 Costes totales del conjunto del sistema energético, referidos a la la demanda de energía final total, para el contexto E3.0 con participación de la gestión de la demanda, y para los casos de incluir o no el efecto del coste de la acumulación de hidrógeno.



En la figura 250 se recoge la comparativa en términos de LEC de los principales casos analizados, tanto para el contexto BAU como para el E3.0.

Figura 250 Comparación de los LEC del conjunto del sistema energético para los principales casos analizados en el contexto BAU y en el contexto E3.0.



En términos de LEC, en el año 2007 los LEC del contexto E3.0 siguen siendo superiores al LEC del contexto BAU con mix de generación BAU, pero en el año 2050 resultan muy inferiores, de tal forma que la media en el periodo considerado resulta favorable para el contexto E3.0, y mejora la ventaja a lo largo del tiempo a partir del año 2050. Los dos casos del contexto E3.0 resultan más favorables que el BAU con 100% de renovables, debido a que la estructura de la demanda resultante en el contexto E3.0 permite una cobertura más económica con energías renovables que lo que sucedía en el caso BAU. Dentro del contexto E3.0, la incorporación de la gestión de la

demanda también proporciona una mejora en el LEC, debida tanto a un mejor acoplamiento de la demanda con la generación, como a que se necesita menos capacidad de regulación por el lado de la producción.

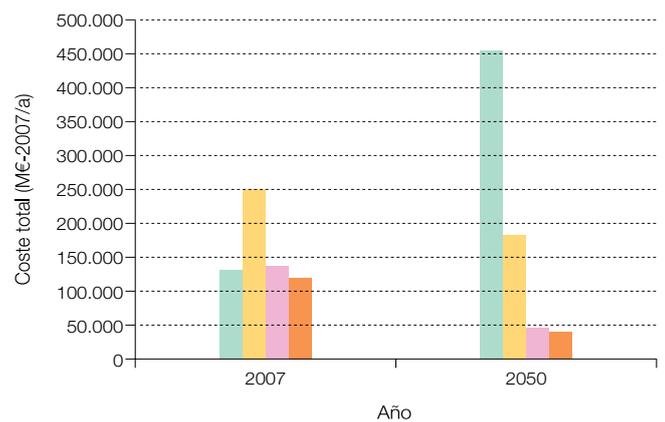
El efecto sobre el LEC de los costes asociados al despliegue de eficiencia e inteligencia estará limitado por un valor de sobrecoste máximo que estos costes pueden suponer, definido como diferencia entre los costes del contexto BAU y los del contexto E3.0.

Por lo que se refiere al coste total del sistema energético, que realmente es el parámetro relevante para realizar la

comparativa entre los contextos BAU y E3.0, la figura 251 muestra cómo se amplifican las ventajas del contexto E3.0 respecto al BAU. Ya en el año 2007, el coste total del contexto E3.0 es igual o inferior al coste total del BAU con mix de generación BAU. En el año 2050, la diferencia de costes entre el contexto BAU y el E3.0 se hace mucho mayor, lo que deja un margen muy grande de recursos económicos para dedicar a medidas de eficiencia e inteligencia⁵¹. El uso inteligente de estos recursos

liberados es lo que define una economía sostenible. Una primera aproximación de los recursos económicos liberados para invertir en eficiencia e inteligencia y desarrollar el gran potencial de ahorro asociado al contexto E3.0 sería de 28,5 c€/kWh^{ahorrado}, valor resultante de dividir el ahorro en costes entre el contexto BAU (caso de cobertura de la demanda con un mix BAU) y el E3.0 (caso con gestión de la demanda, ambos para el año 2050) por el ahorro de energía conseguido.

Figura 251 Comparación de los costes totales del conjunto del sistema energético para los principales casos analizados en el contexto BAU y en el contexto E3.0.

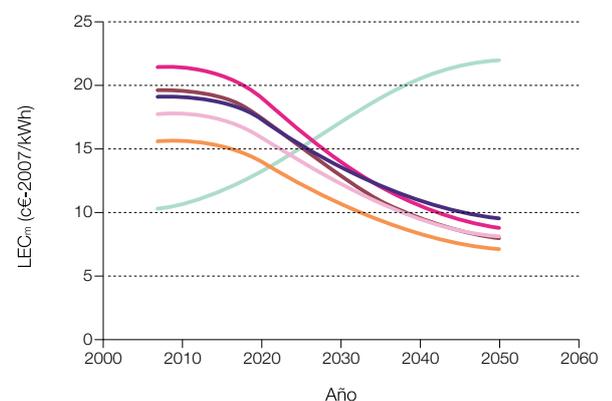


11.4.4 Evolución temporal de costes

La figura 252 recoge la comparativa entre la evolución temporal de los LEC_m (promedios del parque existente en

cada año) para los principales casos analizados, tanto del contexto BAU como del E3.0. En esta figura se aprecia el gran beneficio (incluso a nivel de LEC) que deja la transición hacia el contexto E3.0 a partir del año 2050.

Figura 252 Comparación de la evolución temporal de los LEC_m (promedios del parque existente en cada año) para los distintos casos considerados.

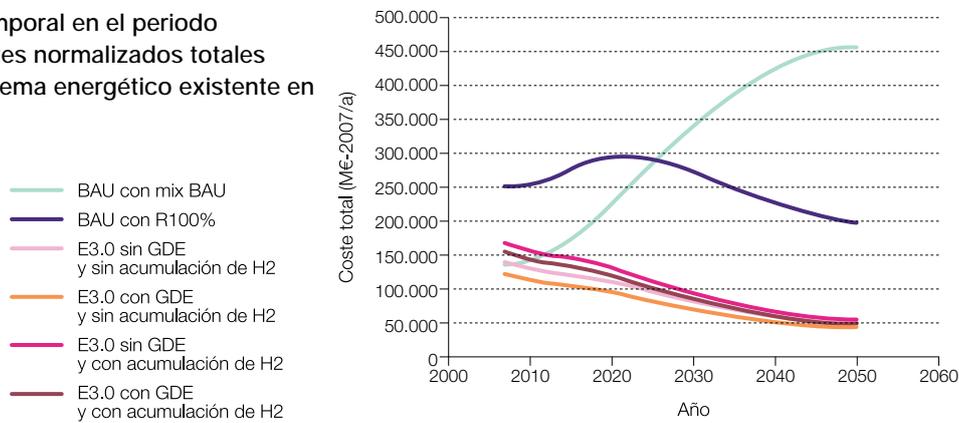


⁵¹ Con la ventaja añadida de proporcionar una estabilidad de costes, independizándose de las tendencias inflacionistas asociadas al uso de combustibles fósiles o nucleares.

Si se cruzan estos resultados con los de los escenarios temporales de evolución de la demanda de energía en los contextos BAU y E3.0 es posible obtener una cuantificación de la evolución total de los costes normalizados del sistema energético a lo largo del periodo

de análisis. La figura 253 muestra estos resultados para los principales casos analizados en los contextos BAU y E3.0. En esta figura podemos apreciar el gran beneficio remanente a partir del año 2050 que deja como herencia la transición desde un contexto BAU a uno E3.0.

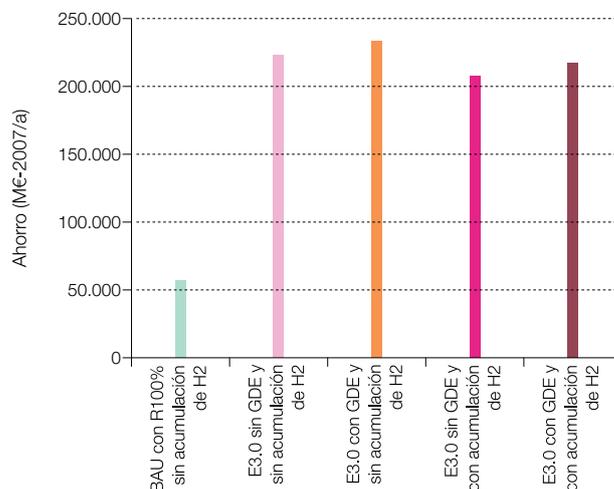
Figura 253 Evolución temporal en el periodo considerado de los costes normalizados totales correspondientes al sistema energético existente en cada año.



La figura 254 muestra el valor promedio en el periodo 2007–2050 del ahorro promedio respecto al caso BAU con mix BAU. Estos ahorros, incluso durante el periodo de transición 2007–2050, alcanzan valores muy elevados que proporcionan un recurso económico muy importante para articular la transición del sistema energético. A

partir del año 2050, una vez completada la transición, los niveles de ahorro asociados al año 2050 (muy superiores a los promedios recogidos en esta figura) permanecen de forma indefinida, y repercuten íntegramente en una mejora de la eficiencia del sistema económico.

Figura 254 Promedio en el periodo 2007–2050 del ahorro anual normalizado de los distintos casos respecto al BAU con mix BAU.



Puesto que llevar a cabo la transición desde el contexto BAU al E3.0 supone un ahorro muy importante para el sistema económico, resulta interesante evaluar cuál sería el margen de gasto para invertir en la transición desde un contexto al otro sin que llegue a suponer

un sobrecoste neto del sistema energético respecto a mantenerse en el contexto BAU. Las figuras 255 y 256 recogen este resultado en relación con el ahorro conseguido de energía, así como en relación con la energía demandada.

Figura 255 Sobrecoste máximo disponible para que la transición no represente un coste adicional en el sistema energético respecto al BAU, por unidad de ahorro conseguido.

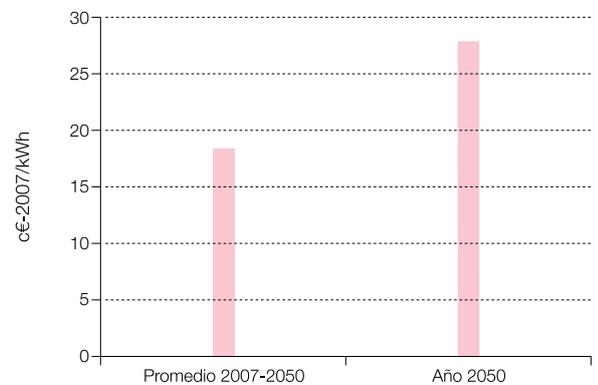
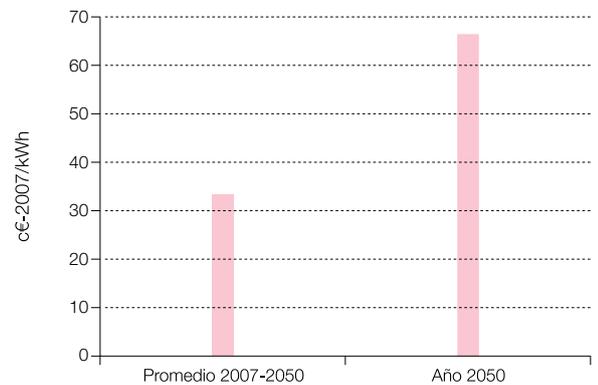


Figura 256 Sobrecoste máximo disponible para que la transición no represente un coste adicional en el sistema energético respecto al BAU, por unidad de energía final demandada en el contexto E3.0.



Al analizar por separado el efecto de la introducción de eficiencia en el consumo final y de la sustitución de fuentes de energía por renovables, se concluye que, en el caso de tener un mix de generación 100% renovable, el despliegue de eficiencia en el sistema resulta más favorable cuanto más pronto se realice. De cualquier forma, los costes disponibles para el despliegue de

eficiencia, evaluados a partir de la diferencia de costes entre el sistema energético en el contexto BAU y el del E3.0, conducen a valores muy superiores (15–25 c€/2007/kWh) a los costes promedio del negavatio correspondiente al conjunto de medidas de eficiencia a aplicar sobre el sistema energético (del orden o inferiores a 1 c€/2007/kWh).

11.5

Escenarios de transición de costes

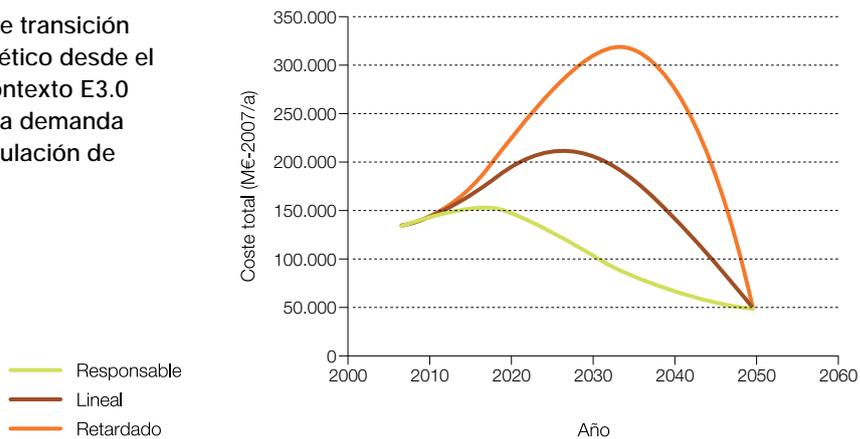
en este punto se presentan las posibles trayectorias que podría seguir la transición desde el contexto BAU al contexto E3.0 en términos de costes.

Se parte del escenario BAU en el año 2007, y se aplican distintos escenarios de transición entre las

curvas que representan la evolución BAU y la E3.0 para evaluar el efecto de distintas políticas de transición.

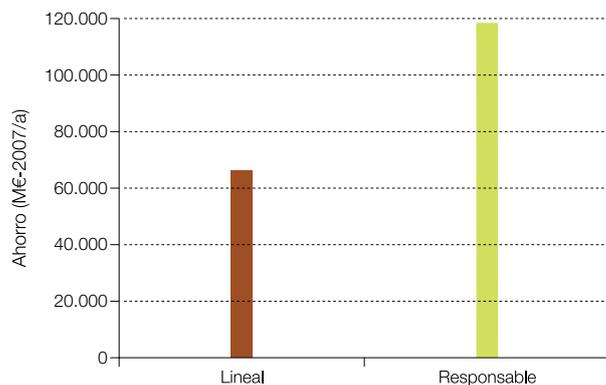
La figura 257 recoge los resultados correspondientes a los tres escenarios de transición considerados: retardado, lineal y responsable. Como se puede ver, los retrasos en desarrollar el proceso de transición suponen unos importantes costes económicos.

Figura 257 Distintos escenarios de transición del coste total del sistema energético desde el contexto BAU con mix BAU al contexto E3.0 con participación de gestión de la demanda e incluyendo los costes de acumulación de hidrógeno.



Resulta evidente que adoptar transiciones más aceleradas hacia el contexto E3.0 aporta importantes beneficios económicos. La figura 258 los cuantifica:

Figura 258 Ahorro anual promedio en el periodo 2007–2050 de las transiciones lineal y responsable respecto a la transición retardada.



El coste anual promedio en el periodo 2007-2050 correspondiente al escenario de transición retardado resulta ser el 211% del coste promedio correspondiente al escenario responsable: retrasar el proceso de transición puede conducir a duplicar los costes del sistema energético en el periodo de tiempo considerado.

11.6

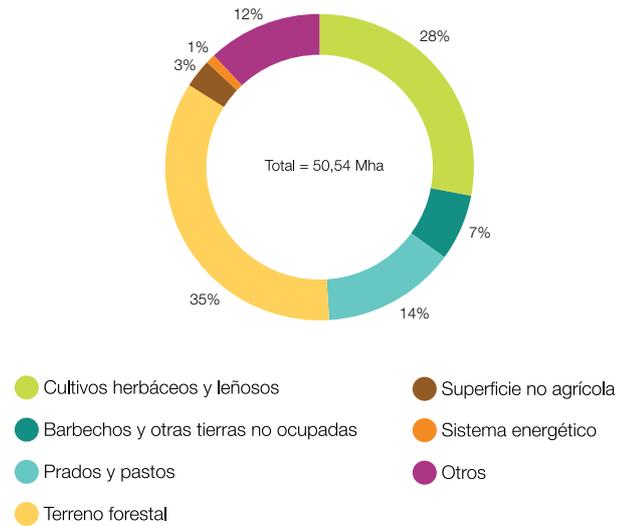
Ocupación del territorio

frecuentemente se suele argumentar que un modelo basado en energías renovables supondría una gran ocupación territorial. Para despejar dudas al respecto, en el estudio se analizan las implicaciones en términos de ocupación del territorio de los distintos escenarios de cobertura de la demanda considerados.

En primer lugar, se muestra la estructura actual del uso del territorio en España en el año 2008⁵², y se incluye una valoración del uso del territorio por parte del sistema energético en ese año.

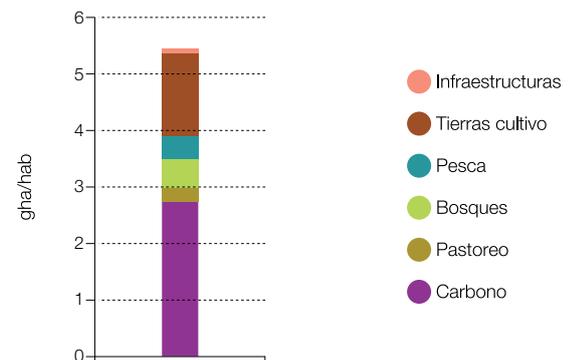
El hecho de que el sistema energético haya requerido hasta la fecha un uso aparentemente tan bajo del territorio, no es más que una consecuencia de que la mayoría de sus impactos están 'externalizados', ya que es totalmente dependiente de unos combustibles fósiles procedentes de explotaciones energéticas en otros países, y cuya utilización genera una serie de impactos en el medio ambiente que también se pueden traducir en un requerimiento de ocupación del territorio.

Figura 259 Estructura del uso del territorio en el año 2008.



Un método para valorar esos impactos es el de la 'huella ecológica'. La figura 260 recoge la estructura de la huella ecológica en España para el año 2007, de la que se puede concluir que harían falta tres planetas Tierra en el caso de que todos los habitantes del planeta viviesen como en España: un claro indicador de insostenibilidad. También se puede observar cómo ya en la actualidad la contribución dominante a la huella ecológica de España es la correspondiente al carbono, que refleja tan solo una de las externalidades del sistema energético, esto es, el requerimiento de reabsorción del CO₂ emitido.

Figura 260 Huella ecológica de España en el año 2007; según el National Footprint Accounts – 2010 elaborado por la Global Footprint Network, expresada en términos de hectáreas globales (hectáreas de productividad media) per cápita.



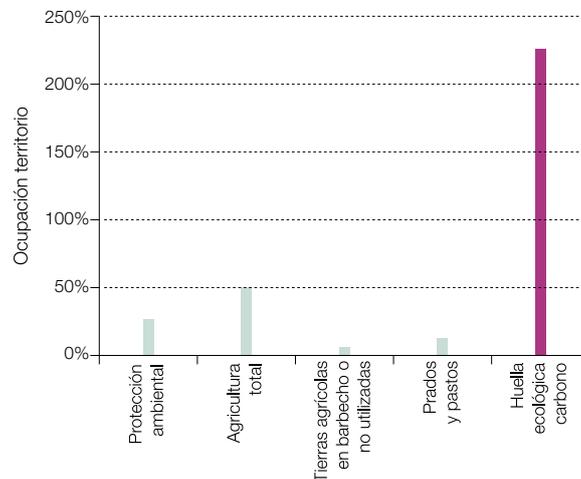
⁵² Según datos del *Anuario Estadístico 2009* (Ministerio Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009).

Para el contexto E3.0 todos los casos considerados conducen a una internalización completa de la huella ecológica del sistema energético.

La figura 261 muestra que el uso del territorio que se necesita para internalizar las emisiones de CO₂ de España resulta del orden del 226 %, muy superior a los usos del territorio dedicados a la protección de espacios naturales e incluso del dedicado a la producción de

alimentos, y de hecho es tan elevado que no disponemos de territorio suficiente para su internalización. Por el contrario, un sistema basado en energías renovables permite internalizar completamente los impactos del sistema energético.

Figura 261 Ocupación del territorio, en términos relativos a la superficie peninsular de los usos de protección ambiental y de producción de alimentos, comparado con la ocupación del territorio que corresponde a la contribución del carbono en la huella ecológica (situación actual).



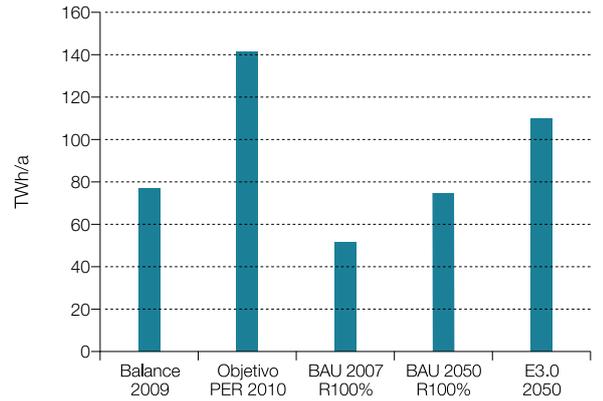
Para evaluar el impacto de un sistema basado en renovables, hay que tener en cuenta que la mayor incidencia territorial viene derivada de la cantidad de biomasa que se utilice, y según el balance entre el uso de biomasa e hidrógeno empleado para la cobertura de la demanda de combustibles, el efecto sobre la ocupación del territorio del sistema energético diferirá de forma importante. En este informe se han evaluado distintos casos en cuanto al balance entre el uso de la biomasa y del hidrógeno. Los casos del análisis de la cobertura de la demanda con 100 % renovables que se han analizado con más detalle corresponden a dos casos particulares:

- Para el contexto BAU se ha considerado un caso en el que se mantiene un desarrollo continuista del uso de la biomasa en relación a la situación actual, por lo que se cubre el grueso de la demanda de combustibles mediante la generación de hidrógeno con electricidad renovable, ya que el recurso de biomasa disponible sería insuficiente.

- Para el contexto E3.0 se ha planteado un caso con un equilibrio entre el uso de biomasa y de hidrógeno para proporcionar la cobertura a la demanda de combustibles, aunque evidentemente también existe la opción de prescindir totalmente del uso de la biomasa y proporcionar esta cobertura exclusivamente con hidrógeno.

En la figura 262 se comparan los recursos de biomasa directamente asociados al sector energético en cada uno de esos casos. Como puede verse, en estas condiciones, el uso de biomasa planteado para el año 2050 en el contexto E3.0 (el de mayor uso de biomasa), es sensiblemente inferior al correspondiente a la planificación energética para el año 2010, y el uso de la biomasa en el contexto BAU 100 % renovable para el año 2050 es incluso inferior al que ya había en el año 2009. En estas condiciones, resulta evidente que el uso de la biomasa planteado para proporcionar cobertura a la demanda del sector energético en el año 2050, tanto en los contextos BAU como E3.0 no resulta en absoluto excesivo, sino más bien se podría interpretar como conservador.

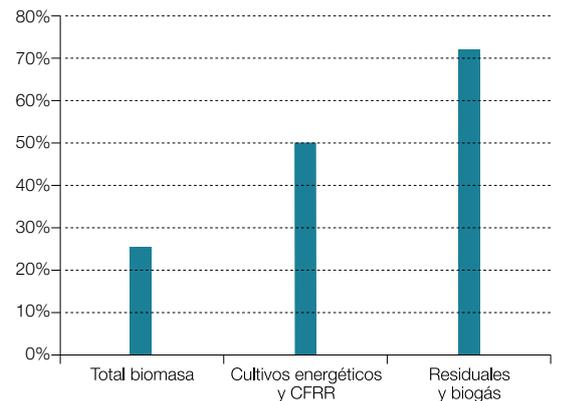
Figura 262 Comparación entre el uso de biomasa actual del sistema energético (2009), la planificación para 2010 correspondiente al desarrollo de la biomasa energética, y el uso de biomasa planteado en los casos de cobertura de la demanda 100% renovable para los contextos BAU (2007 y 2050) y E3.0. Resultados sin incluir el subsector de 'usos no energéticos'.



Si se compara el uso de biomasa en el caso analizado en el contexto E3.0 (dejando de lado el requerimiento de biomasa para el subsector 'usos no energéticos' y centrándose en el uso de biomasa directamente imputable al sistema energético) con el potencial disponible de biomasa, la figura 263 muestra cómo el caso analizado de cobertura de la demanda en el

contexto E3.0 representa un 26 % del potencial total de biomasa, el 50 % del potencial de cultivos energéticos y forestales de rotación rápida, y el 72 % del potencial de biomasa residual. Es decir, sería posible cubrir todo el requerimiento de biomasa para el sistema energético con biomasas residuales, y por tanto sin efecto alguno sobre la ocupación del territorio.

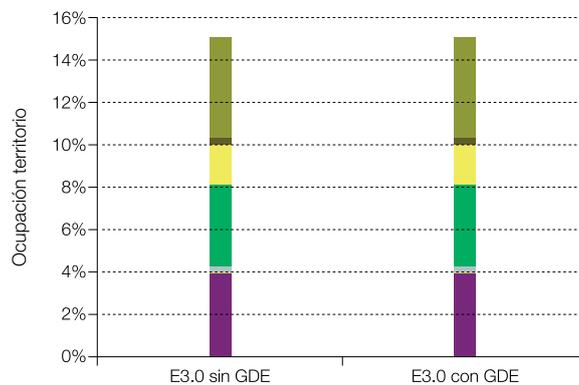
Figura 263 Valor relativo del consumo de biomasa para el caso analizado de cobertura de la demanda en el contexto E3.0. Sin incluir el consumo de biomasa para el subsector 'usos no energéticos'.



A continuación se muestra la estructura de ocupación del territorio para los casos de cobertura de la demanda

considerados en el contexto E3.0, sin y con participación de la gestión de la demanda:

Figura 264 Estructura de la ocupación del territorio para el contexto E3.0 en el año 2050, en los casos sin y con participación de la gestión de la demanda.



Esta ocupación del territorio es una consecuencia directa de dos factores no estructurales: la cobertura con biomasa de la demanda del subsector 'usos no energéticos', y el elevado uso de biomasa que resulta de plantear un equilibrio entre biomasa e hidrógeno para cubrir la demanda de combustibles. Ambos elementos son perfectamente prescindibles⁵³, y corresponden tan solo a una de las múltiples opciones disponibles para la cobertura de la demanda, por lo que en el caso de priorizar el aspecto de ocupación del territorio frente a las otras consideraciones, existe un gran potencial de reducción de la ocupación del territorio. La figura 265 presenta los resultados correspondientes a dos casos adicionales de cobertura de la demanda en el contexto E3.0:

- El uso exclusivamente de hidrógeno para la cobertura de la demanda de combustibles. No considera el

subsector 'usos no energéticos', y el uso de biomasa se limita a la pequeña cantidad de biomasa empleada para la regulación del sistema eléctrico⁵⁴.

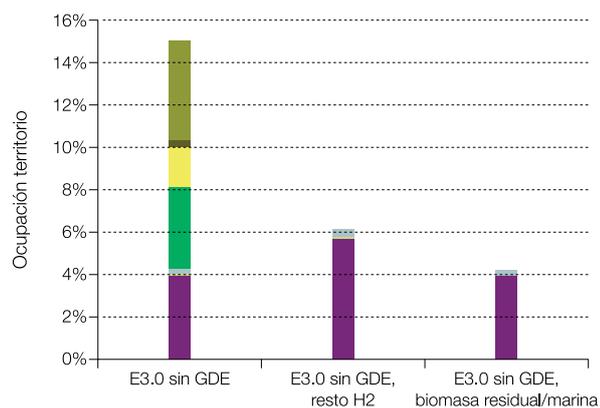
- El uso de biomasa residual o marina para sustituir toda la biomasa procedente de cultivos energéticos o forestales planteado en el caso original de cobertura de la demanda del contexto E3.0.

Como se puede observar en esta figura, la ocupación del territorio original para dar cobertura de la demanda al contexto E3.0 –incluido el sector usos no energéticos (15,1%)– puede reducirse hasta un 6,2% en el caso de emplear exclusivamente hidrógeno para la cobertura de la demanda de combustibles, y hasta un 4,3% si se sustituye el uso planteado de biomasa procedente de cultivos energéticos y forestales por biomasa residual y/o marina.

⁵³ Aunque en el estudio ha evaluado la cobertura de la demanda del subsector 'usos no energéticos' y sustituyendo los combustibles fósiles actualmente empleados como materias primas por materiales elaborados con biomasa, esta opción realmente queda fuera de la 'responsabilidad' del sector energético, por lo que si se desea minimizar la ocupación del territorio existen distintas opciones: seguir empleando combustibles fósiles para cubrir esta demanda (planteamiento no estrictamente sostenible porque son recursos eventualmente agotables, pero si se reciclan en vez de destruirse, su consumo sería tan bajo que resultaría comparable al consumo de otras materias primas no fósiles en otros procesos productivos); o bien emplear combustibles sintetizados a partir de hidrógeno generado con electricidad renovable y carbono procedente, por ejemplo, de la fijación de CO₂ atmosférico.

⁵⁴ Unos 14 TWh/a, del orden del 3% del recurso disponible.

Figura 265 Efecto sobre la ocupación del territorio de plantear la cobertura total de la demanda de combustibles con hidrógeno, o de emplear biomasa residuales o marinas para este fin. Contexto E3.0 en año 2050.

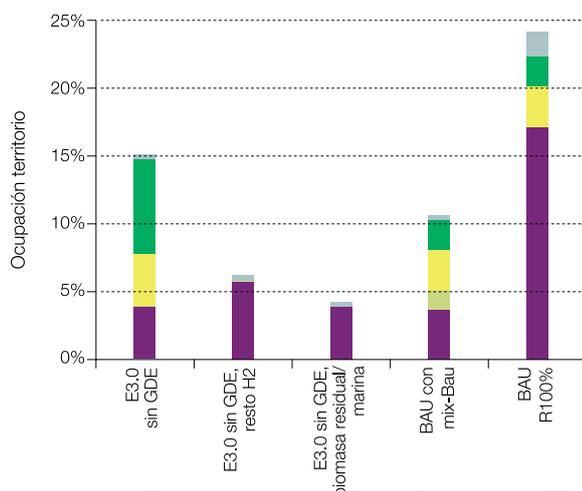


Esa ocupación del territorio no es completa, ni mucho menos, ya que una de las tecnologías que más se utilizan, la eólica terrestre, puede compartir el territorio con otros usos, como la producción de alimentos. Aun así existen múltiples opciones que conducen a una ocupación menor aun del territorio si se priorizan las tecnologías de generación con menor ocupación del territorio (como la solar termoelectrica), o incluso las de ocupación nula del territorio (como la fotovoltaica en edificios, la eólica marina o las olas), a lo que hay que añadir la biomasa sin efectos en ocupación del territorio (biomasa residual y biomasa marina). Por tanto, en el extremo de priorizar el aspecto de ocupación del territorio por encima de todos los otros criterios, existe potencial de generación más que suficiente para cubrir la demanda con un ocupación nula del territorio para la generación,

y por tanto, limitando la ocupación del territorio a los aspectos asociados a transporte y distribución de la electricidad, es decir, en el orden del 0,2%–0,3%.

Por lo que respecta a la comparativa con los casos correspondientes al contexto BAU, la figura 266 muestra cómo el mix originalmente planteado (incluida la cobertura con biomasa del subsector de usos no energéticos) conduce a una ocupación del territorio que se encuentra entre las del contexto BAU para mix BAU y mix 100% renovable. Pero si se deja de lado el sector de usos no energéticos, y se sustituye el uso de biomasa procedente de cultivos energéticos o forestales por hidrógeno o por biomasa residual/marina, el uso del territorio correspondiente a la cobertura de la demanda del contexto E3.0 es del orden de la mitad del requerido para cubrir la demanda del contexto BAU con un mix BAU.

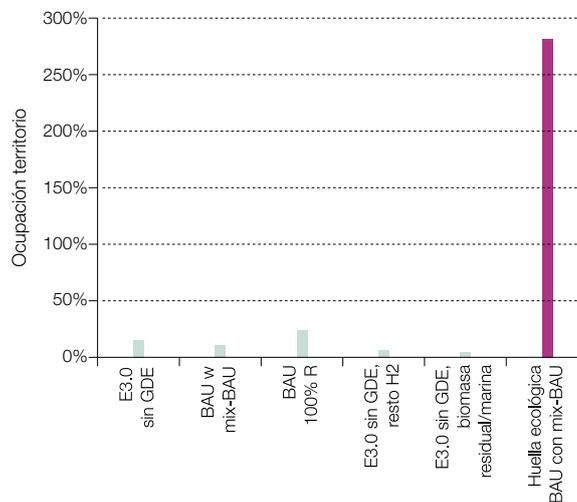
Figura 266 Comparativa de los requerimientos de ocupación del territorio y su estructura para el año 2050 en los contextos BAU y E3.0 y con distintos mix para la cobertura de la demanda. Año 2050.



Pero hay que recordar que tanto en el contexto E3.0 como en el BAU con mix 100% renovable, se lleva a cabo una internalización completa del impacto del sistema energético sobre la ocupación del territorio, mientras que en el caso del contexto BAU con mix BAU existe una

gran externalización de este efecto. Esto se observa en la figura 267, que presenta los requerimientos de ocupación del territorio de cada uno de los casos analizados junto a la huella ecológica de carbono del caso del contexto BAU con mix BAU.

Figura 267 Comparativa de la ocupación del territorio para los contextos BAU y E3.0, con distintos mix para la cobertura de la demanda, y la huella ecológica de carbono para el contexto BAU con mix BAU.



Por último, se puede realizar una comparativa más equitativa con el sistema eléctrico actual, y centrarse tan solo en la parte del sistema eléctrico destinada a la cobertura de la electricidad directa. En ese caso, la ocupación se reduce a un 3,3%, y si se descuenta la ocupación correspondiente a la eólica terrestre y al transporte y distribución de electricidad (que pueden compartir el territorio con otros usos como la producción de alimento), la ocupación del territorio se reduce a un 0,4%, del orden de una tercera parte de la del sistema eléctrico actual (a pesar de la mayor electrificación planteada en el contexto E3.0).

En conclusión, mientras el caso con mix BAU tiene una huella ecológica totalmente externalizada que representaba el 226% del territorio peninsular en el año 2007, y que llegaría a ser el 358% del territorio peninsular en el año 2050, para el contexto E3.0 todos los casos considerados conducen a una internalización completa de la huella ecológica del sistema energético, al estar basados al 100% en generación renovable. Si se dejan

de lado los posibles requerimientos de ocupación del territorio para cubrir la demanda del sector 'usos no energéticos' con combustibles de origen renovable, la ocupación del territorio del sistema energético para el contexto E3.0 en el año 2050 oscila entre un 10,4% del territorio peninsular, para un mix de generación que plantee un equilibrio entre el uso de biomasa procedente de cultivos energéticos y de hidrógeno procedente de electricidad renovable y que se apoye en un mix de generación eléctrica diverso y compatible con las estructuras de costes de las distintas tecnologías así como su estado de desarrollo actual, y un 0% para un mix de generación apoyado exclusivamente en tecnologías renovables sin repercusión sobre la ocupación del territorio como la fotovoltaica integrada, la eólica marina y las olas (de las cuales se dispone de suficiente potencial para proporcionar la cobertura completa de la demanda en un contexto E3.0), o con un apoyo de formas de biomasa sin repercusión en la ocupación del territorio (biomasas residuales, biomasas de origen marino).





Central termosolar de torre central Gemasolar (Sevilla), propiedad de Torresol Energy, con una potencia de 15 MW. Su sistema de almacenamiento de 16 horas en sales fundidas permite suministrar energía durante las 24 horas del día.

Conclusiones

- El modelo Energía 3.0 (E3.0) caracterizado por el despliegue de eficiencia e inteligencia por el sistema energético y por la cobertura del 100% de la demanda de energía con energías renovables, no solo es técnicamente viable, sino muy favorable respecto a una alternativa de seguir como hasta ahora (BAU), desde todos los puntos de vista: técnico, económico, ambiental y de ocupación del territorio.
- La transición desde el contexto BAU al E3.0 debería producirse tan rápidamente como sea posible, pues cualquier retraso en el proceso de transición conlleva importantes penalizaciones ambientales y económicas.
- Si bien existen recursos renovables suficientes para cubrir la demanda BAU del conjunto del sistema energético en el horizonte considerado (año 2050), la eficiencia e inteligencia resultan elementos imprescindibles para garantizar la sostenibilidad a largo plazo y para limitar los recursos (económicos y de ocupación del territorio) necesarios para proporcionar la cobertura de la demanda.
- La integración y electrificación del sistema energético constituyen elementos fundamentales del despliegue de eficiencia e inteligencia, y permiten reducir de forma muy importante la demanda de energía final y optimizar el aprovechamiento de la generación basada en energías renovables.
- Además del despliegue de inteligencia por el sistema energético, para alcanzar el potencial del contexto E3.0 se necesita también el despliegue de inteligencia por los sistemas político, económico, social y administrativo. En concreto, es fundamental la articulación de los mecanismos que permitan evolucionar de un metabolismo social completamente dependiente de la venta de productos a otro completamente apoyado en la prestación de servicios.
- La cobertura de la demanda con sistemas de generación basados en energías renovables se garantiza con más facilidad gracias a la integración del sistema energético y a la disponibilidad de mecanismos de flexibilidad por el lado de la demanda (gestión de la demanda), que se añaden a los mecanismos de flexibilidad desde el lado de la oferta.
- Para sustituir a los combustibles fósiles en los casos en que la electrificación no es viable o no es la alternativa más apropiada, existen dos opciones disponibles: biomasa e hidrógeno. La elección de la combinación entre ellas debe tener en cuenta distintas consideraciones:
 - La biomasa es un recurso relativamente escaso con muchas aplicaciones posibles, por lo que hay que asignarlo con precaución. En el sistema eléctrico, la aplicación de la biomasa más eficiente es la regulación del sistema eléctrico mediante la hibridación de las centrales termosolares. Pero esta opción se hace mucho menos necesaria cuando se trata de cubrir la demanda total del sistema energético, ya que en este caso hay un exceso de capacidad de generación disponible, debido a las necesidades de producción de hidrógeno.
 - Para asignar la participación de la biomasa en el sistema energético, en este estudio se tienen en cuenta dos criterios. Uno de ellos es minimizar las emisiones de CO₂, priorizando el mayor tiempo de retención del carbono en forma sólida de la biomasa residual, para evitar que al quemarla se produzca la emisión de todo ese CO₂ a la atmósfera; este criterio favorece el uso de las biomásas procedentes de cultivos energéticos. El otro criterio considerado es minimizar la ocupación del territorio, criterio que favorece al hidrógeno

El modelo Energía 3.0 se caracteriza por el despliegue de eficiencia e inteligencia por el sistema energético y por la cobertura del 100 % de la demanda de energía con energías renovables. Demuestra que no solo es técnicamente viable, sino muy favorable respecto a la alternativa de seguir como hasta ahora, desde todos los puntos de vista: técnico, económico, ambiental y de ocupación de territorio.

procedente de electricidad renovable y/o las biomasas residuales o marinas.

- La demanda total de energía final en el contexto E3.0, a pesar del crecimiento de la población y del PIB, para el año 2050 se reduce a un 28,3 % de la del contexto BAU, y a un 44,5 % de la del año 2007. Por sectores, se reduce en el sector edificación al 19,5 % respecto al BAU y al 35,8 % respecto a 2007; en el sector industria, al 47,8 % respecto al BAU y al 60,2 % respecto a 2007; en el sector transporte, al 19,7 % respecto al BAU y al 34,9 % respecto a 2007; en el sector primario, al 68,9 % respecto al BAU y al 81,2 % respecto a 2007; en el sector servicios públicos, al 37,7 % respecto al BAU y al 34,3 % respecto a 2007; y en el sector usos no energéticos, al 80,0 % respecto al BAU y al 62,9 % respecto a 2007.
- Gracias a la eficiencia e inteligencia, la gran electrificación planteada en el contexto E3.0 no conlleva un crecimiento importante de la demanda de electricidad total: la demanda de electricidad directa en el contexto E3.0 para el año 2050 es tan solo un 14 % mayor que la del año 2007 y es tan solo el 57 % de la demanda de electricidad que correspondería al contexto BAU para el año 2050. Por tanto, no haría falta un gran incremento de infraestructuras del sistema eléctrico, aunque deberán adaptarse a un sistema de generación basado en renovables. Y gracias a esta gran electrificación, la demanda de combustibles para el contexto E3.0 es tan solo el 18 % de la correspondiente al contexto BAU en 2050.
- En términos de emisiones de CO₂, el contexto E3.0 permite evitar la emisión de 493 MtCO₂/a en el año 2050, mientras el contexto BAU conduce a un incremento del 24,3 % en las emisiones totales (respecto a 2007). Desde el punto de vista de la compatibilidad con el sistema climático, la opción de un contexto BAU con un mix de generación BAU no es compatible.
- De las tres trayectorias tipo de transición del contexto BAU al E3.0 que se han considerado (retardada, lineal y responsable), el escenario retardado conduce a unos grandes picos del consumo de energía (33,6 % por encima del valor en el año 2007) y emisiones (24,6 % por encima del valor en el año 2007) en torno al año 2030, totalmente incompatibles con la disponibilidad de recursos energéticos y con los límites de emisiones

para evitar un cambio climático catastrófico.

- La transición al contexto E3.0 proporciona un gran potencial de reducción de costes del sistema energético:
 - El coste total del sistema energético en el año 2050 para el contexto E3.0 es tan solo de un 9 % del coste correspondiente al contexto BAU con mix BAU, y un 22 % del correspondiente al contexto BAU con mix 100 % renovable. Entre las dos opciones de demanda del contexto BAU, el coste de la energía con el mix 100 % renovable sería un 49 % del correspondiente al mix BAU en el año 2050, y un 88 % en el periodo 2007–2050.
 - El valor promedio del coste absoluto del sistema energético en el periodo 2007–2050 para el contexto E3.0 es del orden del 30 % del coste correspondiente al contexto BAU con mix BAU. Como comparación, el coste de las primas concedidas para las energías renovables en el régimen especial del sistema eléctrico en el año 2009 constituyen un 1,2 % del ahorro anual promedio que nos proporciona la transición desde el contexto BAU con mix BAU al contexto E3.0.
 - El coste específico de la energía (en promedio de todo el sistema energético) para el año 2050 para el contexto E3.0 es un 30 % del correspondiente al contexto BAU con mix BAU (y un 74 % del correspondiente al contexto BAU con mix 100 % renovable).
 - Si se tienen en cuenta los costes del sistema energético para el año 2050, los recursos económicos liberados para medidas de eficiencia e inteligencia serían de 29 c€/2007/kWh-ahorro, y de 18 c€/2007/kWh-ahorro durante el periodo de transición, muy superior al coste promedio de las medidas de eficiencia que se necesitan para materializar el contexto E3.0.
- Acelerar el proceso de transición proporciona un gran ahorro económico:
 - En una trayectoria de transición retardada, el coste anual del sistema energético alcanza en torno al año 2035 un valor de más del doble (2,35 veces) del coste correspondiente al año 2007. Al seguir la trayectoria del escenario de transición lineal, el coste anual del sistema energético alcanza su máximo en torno al año 2027, con un 54 % por encima del

coste correspondiente al año 2007. La situación más deseable corresponde a seguir la trayectoria del escenario de transición responsable, que alcanzaría en torno al año 2016 un coste máximo de tan solo un 12% por encima del coste correspondiente al año 2007, decreciendo a partir de entonces.

- En términos de costes promedios del sistema energético en el periodo 2007–2050, el escenario de transición retrasado conduciría a un coste de 2,11 veces el correspondiente a un escenario de transición responsable, mientras que un escenario de transición lineal conduciría a un coste promedio del sistema energético del 49% por encima del correspondiente a un escenario de transición responsable.

- La ocupación del territorio asociada al sistema energético resulta muy inferior en el contexto E3.0 (para cualquiera de las opciones de mix energético empleadas para cubrir la demanda con energías renovables, según sea la participación de la biomasa procedente de cultivos energéticos), a la huella ecológica del sistema energético en un contexto BAU, e incluso muy inferior a la huella ecológica actual del sistema energético. Por tanto, la transición hacia el contexto E3.0 resulta en cualquier caso tremendamente eficiente en relación a la reducción del impacto del sistema energético sobre el territorio, proporcionando además una internalización completa de la huella ecológica actual totalmente externalizada.



Detalle de la iluminación vial que utiliza LED.

©PEDRO ARMESTRE

Propuestas de Greenpeace

Para lograr la transformación completa del sistema energético actual hacia uno sostenible, siguiendo el modelo Energía 3.0 (un sistema inteligente, eficiente y que toda la energía que utilice sea 100 % renovable), Greenpeace propone para España:

Planificación inteligente:

- Una **planificación energética de largo plazo** que marque la senda para avanzar lo más rápidamente posible hacia un sistema energético inteligente, eficiente y 100 % renovable.
- Dicha planificación deberá incorporar los siguientes **objetivos** de obligado cumplimiento:

- Suministro del **100 % de la demanda de energía final total con energías renovables** no más tarde de 2050.
- **Reducción de la demanda de energía final en un 55 %** respecto a 2007 para 2050.
- **Reducción a cero de las emisiones** derivadas de la energía para 2050⁵⁵.
- **Objetivos intermedios** que se aproximen lo más posible a la trayectoria del escenario de transición responsable, pues retrasar el proceso de transición produce grandes efectos negativos desde todas las perspectivas (medioambiental, económica, activación de la economía y apoyo a la sostenibilidad global).

Tabla 1 Objetivos según transición responsable.

	2020	2030	2040	2050
Porcentaje de la demanda final con renovables	64 %	84 %	94 %	100 %
Porcentaje de reducción de la demanda respecto a 2007	28 %	43 %	52 %	55 %
Porcentaje de reducción de emisiones de CO₂ derivadas de la energía respecto a 1990	68 %	89 %	97 %	100 %
Porcentaje de electrificación	65 %	85 %	95 %	100 %
Porcentaje de renovables en el sistema eléctrico	87 %	96 %	99 %	100 %

⁵⁵ Se necesitan objetivos ambiciosos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, que comiencen con un objetivo para 2020 que sea coherente con el apoyo de España al establecimiento unilateral de un objetivo europeo de reducción de emisiones del 30 % para dicha fecha. Los objetivos españoles de reducción de emisiones para 2020 no deben limitarse a la trasposición del objetivo que corresponda de acuerdo a los criterios europeos de reparto del esfuerzo, sino que deben tener en cuenta el elevado potencial de que dispone España para reducir emisiones a bajo coste, al promocionar sectores clave en su economía, y la necesidad de hacerlo con relativa urgencia para proteger otros sectores económicos clave muy afectados por el cambio climático.

La planificación debe tener como objetivo el suministro del 100% de la demanda de energía final total con energías renovables no más tarde de 2050.

- Calendario para el **abandono de todas las energías sucias** y su sustitución por energías renovables. Se debe limitar por ley a 30 años la vida útil de las centrales nucleares existentes, y eliminar cualquier posibilidad de renovación extraordinaria de los permisos de explotación de estas, una vez alcanzado el límite temporal, así como establecer un calendario de cierre progresivo de las centrales térmicas de carbón.
 - Planificación y señales económicas para la localización de las unidades de **producción de energía de forma distribuida** geográficamente y más cercana a los puntos de consumo, optimizando el aprovechamiento de los recursos y la minimización de pérdidas.
 - **Planificación y gestión integrada de los sistemas eléctrico y de combustibles** (biogás e hidrógeno), para facilitar la incorporación creciente y de forma eficiente de la energía renovable y optimizar las infraestructuras existentes. La **planificación de infraestructuras** debe ser conjunta y coherente con los objetivos marcados.
 - **Integración del sistema de transporte (de viajeros y mercancías) y la edificación en el sistema energético**, mediante la eficiencia energética, la electrificación y la gestión inteligente.
 - Organización de un **sistema de transporte inteligente**, basado en el suministro de servicios de movilidad apoyado en un parque diverso de vehículos eléctricos de uso colectivo, que facilite la intermodalidad entre los modos carretera y ferrocarril. Para la movilidad interurbana de mercancías, se debe desplazar el modo carretera por el ferrocarril, mientras se introduce una red de electrolineras y puestos de recarga de hidrógeno para camiones.
 - **Criterios ambientales** de obligado cumplimiento en la planificación de las redes eléctricas, como son la menor afección posible a los espacios protegidos y a la biodiversidad, así como criterios e incentivos para el diseño de redes inteligentes.
- sostenible e inteligente. España debería liderar un nuevo enfoque de la política económica de la Unión Europea en la que la lucha contra el cambio climático constituya uno de los elementos claves. Para ello, debe presentar las propuestas necesarias para que el debate económico europeo incluya el factor ambiental, tanto en relación con las cargas o gravámenes como por lo que se refiere a los fondos de apoyo comunitario, en cuya distribución se primen las necesidades derivadas del cambio de modelo energético.
- Mecanismos económicos, políticos, administrativos y sociales que permitan **evolucionar desde una economía dependiente de la venta de productos a una basada en la prestación de servicios**. Vinculación de los beneficios económicos con los servicios prestados y no con la cantidad de energía o productos vendidos. Proporcionar el contexto regulatorio para que se favorezca el desarrollo de esta economía sostenible basada en prestaciones, y eliminar rápidamente las barreras actuales.
 - Creación de un sistema de **financiación** para la inversión en sistemas de eficiencia, renovables y redes inteligentes.
 - Modificación de la **fiscalidad de la energía**, con rango de ley, vinculando los impuestos aplicados a la energía, a los edificios y a los medios de transporte con su eficiencia energética y su impacto ambiental, específicamente las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos, y favoreciendo con deducciones fiscales las actuaciones de mejora de la eficiencia energética y la incorporación de las tecnologías de la información y comunicación y las energías renovables.
 - Modificación de las **tarifas eléctricas** para que reflejen apropiadamente los costes en cada hora de la energía suministrada, modificando el término de energía según niveles de consumo de energía (que favorezcan a quien usa la energía de modo racional y penalicen a quien la derrocha) y haciendo depender el término de potencia de la potencia realmente demandada en cada hora, en relación a la potencia renovable disponible. Por lo que respecta al término de potencia, el principal desde el punto de vista de la regulación de un sistema eléctrico basado en renovables, deben articularse los mecanismos de mercado adecuados para retribuir los servicios de regulación proporcionados mediante la gestión y respuesta de la demanda: incrementar la

Economía inteligente:

- Reconfiguración del sistema económico para que se adapte a la realidad de que un **crecimiento infinito es desastroso e imposible en un mundo finito**. Esto implica que el crecimiento se alinee con los objetivos de sostenibilidad en lugar de enfrentarse a ellos, y que se inicie la transición hacia un modelo económico

potencia contratada tan solo debe resultar más caro si el balance entre exigencias y servicios al conjunto del sistema resulta negativo (mayor exigencia que servicios proporcionados).

- Reconocimiento del **pleno derecho de los consumidores a participar en los mercados energéticos**, para que puedan ofrecer servicios de gestión de la demanda para regulación, almacenamiento y ahorro energético.
- Facilidades e incentivos para la creación y operación de **empresas independientes de servicios energéticos y agregadores de demanda**.
- Programas de **transformación del mercado** para incentivar un rápido desarrollo y comercialización de edificios, vehículos y equipamientos más eficientes.
- **Mantenimiento del sistema de apoyo al precio de las energías renovables**, sin límite de potencia para las renovables no hidráulicas, ni penalización por horas de funcionamiento a las más eficientes. La cuantía del apoyo se reduciría de forma progresiva para las instalaciones nuevas de cada tecnología según avance por su curva de aprendizaje, hasta que su coste se sitúe por debajo del de las energías sucias. Los costes del sistema de apoyo deben recaer sobre todos los consumos finales de energía, no solo sobre la electricidad.
- **Eliminación de todas las subvenciones**, directas e indirectas, a los combustibles fósiles y a la energía nuclear, así como a todos los equipamientos y usos ineficientes de la energía. Y adopción de una posición firme a nivel europeo para que se establezca un régimen claro que prohíba, a nivel comunitario, la extensión de las ayudas a los combustibles fósiles más allá del actual límite temporal fijado en 2018.
- **Internalización de los costes externos** (sociales y ambientales) de la producción de energía, de forma que el precio de cada unidad de energía suministrada refleje su coste real, incluido el coste de las emisiones de CO₂, los residuos (durante todo el tiempo en que dichos residuos resulten peligrosos) y el riesgo nuclear (incluida la cobertura completa del riesgo de daños en caso de accidentes nucleares), aplicando el principio de que 'el que contamina paga'. Contaminar tiene que salir caro.
- **Redirección de los fondos públicos de I+D energético** hacia los sistemas inteligentes, la eficiencia y las renovables, y promoción de proyectos de demostración.
- Obligación de **separación patrimonial completa** entre las empresas que poseen las redes de transporte y distribución y las que poseen las centrales de generación, y no permitir su pertenencia a un mismo grupo empresarial.

Legislación inteligente:

- **Marco regulador definido, previsible y estable, con rango de ley, para las energías renovables y la eficiencia energética**, para hacer atractivas las inversiones y asegurar el cumplimiento de los objetivos.
- **Reforma del mercado eléctrico y la gestión técnica del sistema**: eliminar las barreras a las energías renovables y facilitar una gestión flexible para su óptima integración, incluidas las interconexiones transfronterizas y marinas. Se deben establecer procesos administrativos y de autorización simplificados, coordinados y uniformes en todo el territorio para los proyectos renovables, incluida la previsión de autorización automática en el caso de baja tensión y hasta 100 kW, así como garantizar el acceso y uso prioritario de la red para los generadores renovables, bajo el criterio de mínima inversión necesaria.
- **Articulación del contexto regulatorio y mecanismos de mercado para la plena integración de la demanda** en la operación del sistema. Desde todos y cada uno de los puntos de consumo debería ser posible tener una participación activa en la operación del sistema mediante la respuesta de la demanda a los requerimientos del conjunto del sistema, con una retribución asociada a la prestación de estos servicios.
- Permitir la **entrada en la operación del sistema de los agregadores de demanda y de las centrales de potencia virtuales**.
- Regulación del **derecho al autoconsumo** de energía limpia, que incorpore la medición neta, con las señales económicas apropiadas para un intercambio eficiente de energía con la red.
- Incorporación de **contadores inteligentes** en todos los edificios y aparcamientos, para facilitar la gestión de la demanda y la recarga de los vehículos eléctricos con renovables.
- **Límites estrictos progresivos y obligatorios de eficiencia energética en todos los consumos finales**: edificios, vehículos y equipamientos.

Eliminación progresiva de los menos eficientes. En el caso de los vehículos, por lo menos alcanzar estándares de emisiones máximas de 80gCO₂/km para el promedio de la flota de turismos y de 125gCO₂/km para el promedio de la flota de furgonetas en el año 2020, así como de 50gCO₂/km y 88gCO₂/km, respectivamente, para 2030.

- Extensión de la **regulación de la eficiencia energética en todos los edificios** a las demandas de equipamientos, cargas de proceso e iluminación.
- Modificación del **Código Técnico de la Edificación** para aumentar las exigencias de aislamiento en los edificios, de forma que en todos los emplazamientos se alcance el mínimo consumo energético para el máximo nivel de confort.
- **Prohibición del uso de gases fluorocarbonados** en bombas de calor y equipos de refrigeración, y adaptar las regulaciones técnicas para facilitar el uso de fluidos refrigerantes naturales.
- **Penalización a los sistemas inflexibles** de generación de energía por la energía renovable que no se pueda aprovechar.
- Limitación de los **pagos por capacidad** a los estrictamente necesarios para la regulación de un sistema 100 % renovable, para dar prioridad y favorecer a las tecnologías renovables con capacidad de proporcionar estos servicios.
- Obligación de certificar el origen de la **bioenergía**, exigiendo el cumplimiento de los criterios ambientales y sociales estrictos de Greenpeace que garanticen la sostenibilidad de las materias primas usadas, y dar preferencia a las fuentes de bioenergía que produzcan un menor impacto sobre el clima, los espacios naturales y otros usos necesarios del suelo y de la propia biomasa. El uso de la bioenergía debería quedar restringido a las aplicaciones más eficientes y en usos finales donde no sea viable otra solución basada

en energías renovables. No debe permitirse la co-combustión de biomasa con combustibles fósiles en centrales térmicas.

- **Transparencia y veracidad** de la información energética, que ha de estar disponible de forma estandarizada para todos los agentes del mercado energético, y ha de asegurar que los consumidores dispongan de la información necesaria sobre el origen e impacto ambiental de la energía que consumen, así como sobre la eficiencia energética de los edificios, equipamientos y vehículos, para poder ejercer su derecho a elegir. Las garantías de origen deben ser obligatorias para toda la electricidad de todas las fuentes utilizadas, y el etiquetado debe basarse en el origen de la electricidad realmente contratada por cada compañía comercializadora para suministrar a sus clientes.
- **Total independencia de los organismos reguladores.**

Investigación y divulgación

- Análisis específicos para los **sistemas insulares y extrapeninsulares** para determinar la senda óptima de transformación de sus sistemas energéticos hacia la inteligencia, eficiencia y renovables al 100%. Dichos análisis deberán ser promovidos por los respectivos gobiernos autonómicos y realizados por entidades especializadas.
- **Información y formación** continua de consumidores y ciudadanos para transitar a este nuevo modelo energético.
- **Ejemplaridad pública.** Incorporación obligatoria de criterios de eficiencia energética en toda obra o contratación de servicios por las administraciones públicas.
- **Campañas de divulgación**, de ámbito nacional e internacional, del nuevo modelo energético por parte de los organismos públicos implicados en el cambio.





Generation 21
www.solar
www.solar

Generation 21
www.solar

Activista de Greenpeace muestra su apoyo al Protocolo de Kioto durante la cumbre internacional sobre cambio climático celebrada en Bali (Indonesia) en 2007.

Anexo

€ Euro

Unidad monetaria común a varios Estados de la Unión Europea.

a Año

Periodo de doce meses, a contar desde el día 1 de enero hasta el 31 de diciembre, ambos inclusive.

ACS Agua Caliente Sanitaria

Agua destinada a consumo humano (potable) que ha sido calentada.

AIE Agencia Internacional de la Energía

Organización internacional, creada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) tras la crisis del petróleo de 1973, que busca coordinar las políticas energéticas de sus Estados miembros.

A_{territorio} Área de territorio ocupada

Fracción de la superficie peninsular española ocupada por un sistema energético.

BAU Business As Usual = seguir como hasta ahora

Contexto de Continuidad, en el que se desarrollan los escenarios de continuidad o BAU.

C Capacidad de acumulación de energía

Cantidad de energía que puede acumularse en un sistema energético.

c€ Céntimo de euro

Moneda que vale la centésima parte de un euro.

CF Factor de capacidad

Factor de ocupación o de carga con que se emplea un vehículo o flota.

CF_{global} Factor de capacidad global

Fracción utilizada de la potencia total instalada en un sistema energético. Es el cociente entre la energía útil generada y la máxima que se podría generar operando a su potencia nominal durante todo el año.

CO₂ Dióxido de carbono

Gas cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono.

COP Coefficient of Performance = coeficiente de rendimiento

Cociente entre la energía obtenida (energía útil) del funcionamiento de un dispositivo o proceso y la energía suministrada o consumida por el mismo.

CTE Código Técnico de Edificación

Conjunto principal de normativas que regulan la construcción de edificios en España.

DOE Department Of Energy

Ministerio de Energía de EE.UU.

E3.0 Energía 3.0

Modelo energético caracterizado por tres señales de identidad: está organizado con inteligencia, el consumo se realiza con eficiencia y la energía se genera con fuentes renovables al 100%.

EREC European Renewable Energy Council

Consejo Europeo de Energías Renovables.

EUI Energy Use Intensity = Intensidad de Uso Energético

Consumo total de energía final en términos específicos, descontando el aporte autónomo de la solar térmica para la cobertura parcial del ACS.

F_{disipada} Fracción de energía disipada

Fracción de la energía eléctrica generada que es necesario disipar por no ser posible su aprovechamiento en un sistema eléctrico dado.

GDE Gestión de la demanda de energía

Conjunto de medidas cuyo objetivo es modificar la forma en la que se consume la energía, sea ahorrando una determinada cantidad de energía o desplazando su consumo a otro momento. Incluye medidas normativas, incentivos, información al consumidor, señales de precio, etc.

GW_e Gigavatio eléctrico

Unidad de potencia eléctrica en el Sistema Internacional equivalente a mil millones de vatios.

h Hora

Tiempo que equivale a 60 minutos.

hab. Habitante

Cada una de las personas que constituyen la población de una nación

INE Instituto Nacional de Estadística

Organismo oficial encargado de la coordinación general de los servicios estadísticos de la Administración General del Estado.

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas.

K Kelvin

Unidad de temperatura del Sistema Internacional. Es igual al grado centígrado, pero en la escala de temperatura absoluta el 0 está fijado en $-273,16^{\circ}\text{C}$.

km Kilómetro

Medida de longitud, que equivale a 1.000 metros.

kW_e Kilovatio eléctrico

Unidad de potencia eléctrica equivalente a 1.000 vatios.

kWh Kilovatio-hora

Unidad de energía equivalente a la energía producida o consumida por una potencia de un kilovatio durante una hora.

kWh_e Kilovatio-hora eléctrico

Unidad de energía eléctrica equivalente a la energía eléctrica producida o consumida por una potencia de un kilovatio durante una hora.

kWh_t Kilovatio-hora térmico

Unidad de energía térmica (calor) equivalente a la energía térmica producida o consumida por una potencia de un kilovatio durante una hora.

LEC Levelized Energy Cost = coste normalizado de la energía

Coste de la electricidad que agrupa los costes de inversión y los de operación y mantenimiento a lo largo del ciclo de vida de una tecnología o sistema, o en un intervalo de tiempo determinado.

LECM(t) LEC medio

El valor del LEC promedio del parque de una tecnología, que varía a lo largo del tiempo.

LECPromedio LEC promedio

El valor promedio del LEC en un periodo de tiempo dado.

LED Light-emitting diode = Diodo emisor de luz

Diodo de material semiconductor que emite luz al aplicar una tensión eléctrica.

lm Lumen

Unidad de flujo luminoso del Sistema Internacional.

m Metro

Unidad de longitud del Sistema Internacional.

m² Metro cuadrado

Unidad de superficie del Sistema Internacional.

p Persona

Individuo de la especie humana.

PIB Producto Interior Bruto

Medida agregada que expresa el valor monetario de la producción de bienes y servicios finales de un país durante un periodo de tiempo (normalmente, un año).

SF Solar Fraction = Fracción solar

Fracción de la demanda cubierta por el sistema de generación renovable.

SF_{eléctrica} Fracción solar eléctrica

Fracción de la demanda eléctrica cubierta por el sistema de generación renovable.

SF_{tot} Fracción solar total

Fracción de la demanda energética total cubierta por el sistema de generación renovable.

SM Solar multiple = Múltiplo solar

Potencia instalada con relación a la demanda máxima. Es el cociente de la potencia nominal instalada entre la máxima potencia demandada.

STI Sistema de Transporte Inteligente

Un sistema de transporte inteligente logra satisfacer los servicios de movilidad con una gran reducción del consumo de energía, gracias a la eficiencia de los vehículos y al alto grado de ocupación que se consigue.

t **Tiempo**

Magnitud física que permite ordenar la secuencia de los sucesos.

TMY **Typical Meteorological Year = año meteorológico tipo**

Recopilación de datos meteorológicos seleccionados para una ubicación específica generados a partir de un banco de datos de duración mucho mayor que un año.

TWh **Teravatio-hora**

Unidad de energía equivalente a mil millones de kilovatios-hora.

V2G **Vehicle to Grid**

Método de recarga de vehículos eléctricos en el que se realiza una interacción bidireccional entre estos vehículos y el sistema eléctrico.

viaj **Viajeros**

Personas que realizan un viaje.

W **Vatio**

Unidad de potencia eléctrica del Sistema Internacional.

GREENPEACE

Activando la [R]evolución Energética
en la España peninsular

www.greenpeace.es

www.revolucionenergetica.es