

despliegue responsable del contexto E3.0 es muy elevado. En el caso de considerar los resultados del proceso de calibrado (figura 216), las demandas anuales medias para el sector transporte serían, en el escenario “re-tardado” de 654 TWh/a, en el “lineal” de 496 TWh/a y en el “responsable” de 349 TWh/a.

3.7 Sector edificación

El sector edificación ya tiene un peso importante en la estructura de la demanda energética de España, y se espera que esta importancia se acentúe en el horizonte de los escenarios considerados, tanto para el caso BAU como para el caso E3.0, por diversos motivos:

- La existencia de un gran parque de edificios construidos (por encima de la demanda real), con escasas consideraciones de eficiencia energética hasta prácticamente la actualidad, y con una larga vida útil por delante.
- Una estructura todavía no saturada de la demanda energética (por ejemplo para refrigeración), que introduce tendencias a incremento de la velocidad crecimiento demanda.
- Mecanismos de respuesta lenta (regulación energética y certificación) de implementación muy reciente y limitada.
- La ausencia de desarrollo de mecanismos de respuesta rápida para acelerar la transición del sector hacia la eficiencia energética.
- Mecanismos económicos establecidos de muy baja eficiencia energética.
- Gran potencial de participación en mecanismos de gestión de la demanda, para convertirse en cómplice de la transición del sistema energético.

La situación actual es, por un lado, bastante desoladora:

- Gran retraso en la implementación de los mecanismos de respuesta lenta, que ha llegado recientemente, después del boom de la construcción en el que se edificó una superficie sensiblemente superior incluso a la demandada³⁶⁷.
- Regulación energética con exigencias limitadas.
- Certificación energética de edificios nuevos con una implementación lenta y limitada en relación a su efectividad.
 - Escalas de certificación relativas que permiten, en los edificios no residenciales, que un edificio de mayor consumo adquiera una mejor certificación que otro de menor consumo (García-Casals X., CONAMA 2008).
 - Herramientas de certificación con importantes limitaciones³⁶⁸.

Por otro lado, el potencial de mejora en el sector edificación es muy importante, por lo que constituye una pieza clave en el despliegue de un sistema energético sostenible.

Al igual que sucede con el sector transporte, en el contexto de electrificación del sistema energético, resulta prioritaria la implementación de medidas de eficiencia en el sector edificación con la doble finalidad de:

- Limitar la demanda energética, y acotar de esta forma los recursos a movilizar (tanto económicos como de espacio) para configurar un mix energético basado en energías renovables con capacidad para cubrir esta demanda. Adicionalmente, tal y como ilustrábamos en la introducción de este informe,

367 - Fecha de finalización del periodo transitorio para el Código Técnico de la Edificación (CTE: RD 314/2006): 29/9/2006.
 - Inicio de la certificación obligatoria de edificios nuevos (RD 47/2007): 31/10/2007.
 - Entrada en vigor de la actualización del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), encargado de imponer los requerimientos de eficiencia sobre los sistemas energéticos de los edificios en el marco del CTE y de la certificación: 29/2/2008.
368 - Certificación energética de edificios existentes: todavía inexistente en las fechas de redacción de este informe (10/2010).
 - Hasta tal punto que es posible “pasear” (es decir, hacerle cambiar su calificación) un edificio dado por la escala de calificación sin introducir ninguna mejora real en el mismo a base de modificar la capacidad de cubrir la demanda de confort (García Casals X., CONAMA 2008).

la contracción de la demanda es la única que nos garantiza la sostenibilidad, incluso de un sistema energético basado en renovables a largo plazo.

- Acotar los requerimientos de ampliación del sistema de transporte eléctrico, así como su impacto ambiental y el de las infraestructuras de generación necesarias (aun cuando estén basadas en energías renovables), y eliminar la que podría resultar una barrera insalvable en los plazos de tiempo disponibles para desplegar el contexto E3.0.

También resulta conveniente resaltar el hecho de que la implementación de medidas de eficiencia en el sector edificación conduce a una modificación sustancial de la estructura de su demanda energética, por lo que su integración en el conjunto del sistema energético presenta importantes aspectos diferenciales respecto a la situación actual, o a un escenario BAU.

En este capítulo presentamos los resultados del desarrollo de escenarios energéticos del sector edificación en los contextos BAU y E3.0. Para ello empezaremos discutiendo una serie de conceptos previos que nos permitan centrar las características de este sector energético, explorar el potencial de eficiencia del mismo, recogido en estudios anteriores, y poner encima de la mesa algunos de los ingredientes para evolucionar hacia el contexto E3.0. Posteriormente procederemos a desarrollar un escenario de evolución del parque edificatorio en términos de superficie construida y su correspondiente reparto modal entre las distintas tipologías de edificios. A continuación, discutiremos los distintos elementos que configuran la demanda energética de un edificio presentando las medidas de eficiencia susceptibles de ser incorporadas. La demanda energética del parque de

edificios en el contexto BAU se obtendrá mediante la simulación dinámica³⁶⁹ a nivel provincial de cada una de las tipologías de edificios, bajo condiciones BAU de los componentes de demanda energética. Para obtener la demanda energética del parque de edificios en un contexto eficiente se repetirán estas simulaciones considerando las condiciones E3.0 de los componentes de la demanda energética. Finalmente, según estos resultados, y para distintos escenarios de transición del contexto BAU al E3.0, desarrollaremos escenarios de evolución de la demanda energética de este sector en el horizonte de tiempo considerado.

3.7.1 Consideraciones previas

En este punto recogemos información previa del estado y posible evolución del sector edificación para contextualizar el desarrollo de los escenarios BAU y E3.0 que posteriormente presentamos, así como aquellos elementos y referencias imprescindibles para elaborar los escenarios.

3.7.1.1 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 absoluta ausencia de monitorización del consumo energético en nuestro parque de edificios. Por tanto, cualquier evaluación que nos encontremos tiene implícito un considerable grado de incertidumbre debido a que la asignación al sector edificación se ha tenido que hacer por vía indirecta.

Si consideramos los balances energéticos de la AIE como representativos de la información

³⁶⁹ La herramienta usada para las simulaciones de los edificios ha sido Energy Plus del departamento de energía de EE. UU.

oficial sobre la estructura de la demanda energética en España, en el último balance disponible al escribir este informe (balance AIE del año 2007), encontraríamos que el peso asignado al sector edificación asciende al 24,5% del consumo energético, por detrás de los sectores transporte (37,7%) e industrial (25,4%)³⁷⁰. Sin embargo, en los balances de la AIE el tratamiento que se hace de la electricidad no es en términos de energía primaria³⁷¹, por lo que no es directamente comparable a los otros consumos energéticos, falseando las comparaciones porcentuales. Si empleamos el rendimiento medio del sistema de generación eléctrica, derivado de los propios datos del balance de la AIE, y corregimos con esto los términos de energía eléctrica en los distintos sectores, llegamos a una foto más indicativa de la estructura actual de la demanda energética primaria sectorial en España. En estas condiciones, el sector edificación representa un 32,9% del consumo energético total, por delante de los sectores industrial (28,7%) y transporte (28,4%). Para el balance del año 2006 estos porcentajes eran de 32,2% para la

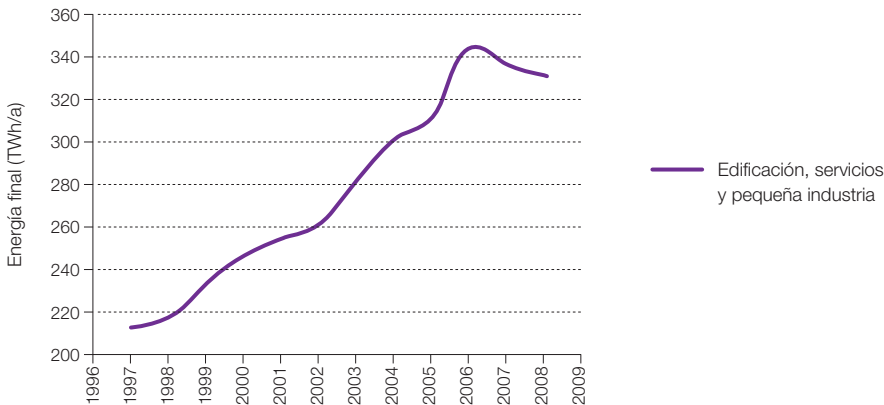
industria, del 29,9% para la edificación, y del 29,7% para el transporte.

En la figura 217 recogemos la evolución del consumo de energía final en el sector de la edificación, servicios y pequeña industria entre 1997 y 2008 según los datos registrados en Eurostat³⁷².

Pero hay cuatro elementos que hacen que el peso del sector edificación sea, o pueda ser en el futuro, incluso superior al arriba indicado, y esto 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.

Figura 217. Evolución del consumo de energía final en los sectores de edificación, servicios y pequeña industria. Datos Eurostat.



370 El resto corresponde a un 2,9% de la agricultura, un 1,7% de usos energéticos no especificados, un 4,4% de materias primas de productos petroquímicos, y un 3,3% de otros usos no energéticos.

371 Excepto, curiosamente, para la energía nuclear, en cuyo caso sí que se considera en energía primaria.

372 Es importante saber que esta serie presenta un pico en el año 2006 (343 TWh/a) por encima de 2007 (336 TWh/a). Esta situación, así como los valores concretos, no se corresponden con los balances de la AIE para estos años, que para el conjunto de los sectores residencial, comercial y de servicios públicos proporciona en términos de energía final unos valores de 265 TWh/a para el año 2006 y de 292 TWh/a para el año 2007. Estas divergencias ilustran algunas de las limitaciones de la caracterización del consumo energético del 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.

A nivel de la UE, la cifra oficial³⁷³ que se maneja para cuantificar el peso del sector edificación en el consumo de energía es del 40%.

Este 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 el apurar al máximo las posibilidades de las medidas de eficiencia energética en este sector para acortar tanto los recursos destinados a la generación de energía, como las infraestructuras y sus impactos de las instalaciones requeridas para generar, transportar y distribuir esta energía. Afortunadamente, el potencial de eficiencia de este sector es muy elevado, de tal forma que al unirlo con la capacidad de generación distribuida con elementos integrados en los propios edificios puede llegar a plantearse incluso³⁷⁴ los edificios de consumo energético neto nulo (ZEB³⁷⁵).

3.7.1.2 Regulación, planificación y otros mecanismos de respuesta lenta

La regulación energética de los edificios ha experimentado en España un largo, y en ciertos sentidos tortuoso (García-Casals, X., 2004) proceso de renovación a lo largo de los últimos 15 años. En (García-Casals, X., 2007) se puede encontrar una recapitulación hasta poco antes de que apareciera el RD que establecía la certificación energética de edificios nuevos en España, y en (García-Casals, X., 2008, 2008-2, 2008-3 y 2008-4) algunas de

las problemática que persistían después del primer año de rodadura del proceso de certificación energética de edificios, gran parte de las cuales siguen estando vigentes.

Actualmente la regulación energética de los edificios nuevos se articula a través del Código Técnico de la Edificación (CTE), del cual recogemos a continuación algunos puntos relevantes:

- Establecido en RD 314/2006, con finalización del período transitorio para entrada en vigor el 29/9/06 por lo que respecta a la envolvente del edificio y el 29/2/08 por lo que respecta a los sistemas energéticos de los edificios (RITE: RD 1027/07).
- Introduce exigencias de eficiencia sobre la demanda energética del edificio y sobre algunos de los sistemas energéticos del edificio. Sin embargo, estas exigencias son, en muchos casos, limitadas en relación al potencial de ahorro disponible³⁷⁶.
- La exigencia de eficiencia no es absoluta, es decir, no limita la demanda energética del edificio (sus kWh/m²), sino relativa a una referencia variable³⁷⁷. Por tanto no es una exigencia orientada a objetivos de acotar en un valor conocido³⁷⁸ la demanda del parque de edificios.
- Introduce requerimientos de cobertura de parte de la demanda de ACS de los edificios con energías renovables en la mayoría de los edificios.
- Introduce requerimientos de la instalación de una pequeña potencia fotovoltaica en los grandes edificios del sector terciario (pero no en los edificios residenciales).

³⁷³ Ver por ejemplo las Directivas 91/76/CEE sobre eficiencia energética, la 2002/91/CE sobre eficiencia energética en la edificación y la 2010/31/EU sobre eficiencia energética en la edificación.

³⁷⁴ Otro tema es si en el contexto de un sistema energético integrado tiene sentido el empeñarse en alcanzar el objetivo de ZEB, perdiendo el potencial de interacción sinérgica entre el sector edificación y el sistema energético.

³⁷⁵ ZEB: Zero Energy Building.

³⁷⁶ En el caso de la envolvente esto es especialmente cierto para los edificios de baja compactidad, donde el CTE es menos exigente que la antigua NBE CT 79 (García-Casals X., 2004). En el caso de los sistemas, el RITE se deja importantes huecos como la limitación de rendimiento de enfriadoras o de potencia de bombeo, y es demasiado permisivo en otros casos como la potencia de los ventiladores.

³⁷⁷ En efecto, la limitación prescriptiva está establecida en términos de los coeficientes globales de transferencia de los distintos componentes de la envolvente, y la prestación en función de la comparación con un edificio de geometría variable proyecto a proyecto.

³⁷⁸ De hecho, uno de los mayores problemas que tenemos en la actualidad en relación al parque edificatorio es la falta de monitorización y conocimiento de la estructura de la demanda energética del mismo. En otros países, como EE. UU., la administración lleva a cabo una monitorización de la estructura de consumo energético de su parque de edificios, de tal forma que es posible definir mecanismos de calificación de los edificios orientados a objetivos. Un ejemplo sería el programa Energy Star de la EPA para edificios existentes, que compara el consumo energético de un edificio con el de la estructura del parque de edificios existentes, de tal forma que se empiezan a ganar estrellas a partir de edificios cuyas prestaciones energéticas se encuentren por encima de las del 75% del parque de edificios existentes.

Como mecanismo para impulsar la eficiencia del sector más allá de los límites regulatorios (CTE), se ha introducido la certificación energética de los edificios, que el RD 47/2007, con finalización del periodo voluntario el 31/10/07, estableció como obligatoria para los edificios de nueva construcción³⁷⁹. Todavía no existe en España un procedimiento de certificación de edificios existentes³⁸⁰, aunque se esperaba que estuviera disponible a lo largo del año 2010³⁸¹.

El procedimiento de certificación oficial de edificios nuevos probablemente todavía no ha llegado en España a ganarse la confianza del sector, lo cual contribuye a incrementar todavía más el tiempo de respuesta para que este mecanismo, que ya de por sí es de respuesta lenta, deje sentir sus efectos. Las causas de

esta situación son múltiples (García-Casals, X., 2008-3), y es probablemente la credibilidad de la metodología y las herramientas impuestas una de las determinantes, y las dificultades de comunicación y transparencia en el proceso, otra. Elementos como el que un edificio de mejor calificación pueda tener mayor consumo energético que otro de peor calificación³⁸², que sea fácilmente modificable la calificación de un edificio al cambiar los parámetros de entrada en las herramientas de cálculo sin salirse del ámbito de un proyecto determinado y sin introducir mejoras en el desempeño energético del edificio³⁸³, la imposibilidad de incluir en las herramientas de cálculo algunas soluciones de elevada eficiencia, el que se penalicen intrínsecamente algunas fuentes energéticas dentro de las herramientas de cálculo decantando la solución adoptada hacia la menos eficiente³⁸⁴,

³⁷⁹ La implementación de este procedimiento de certificación de los edificios nuevos ha resultado extremadamente lenta. A pesar de su entrada en vigor el 30/4/2007, al finalizar el 12/2/2009, más de dos años y medio después de su entrada en vigor, solo había 5 CCAA que habían incorporado legislativamente el procedimiento, y muy pocos edificios que estuvieran certificados. A fecha de redacción de este informe (10/2010), en la web del Ministerio de Industria solo figuran referencias a legislación relativa a la certificación energética de edificios en 6 CCAA.

³⁸⁰ En el momento de redactar este informe (10/2010).

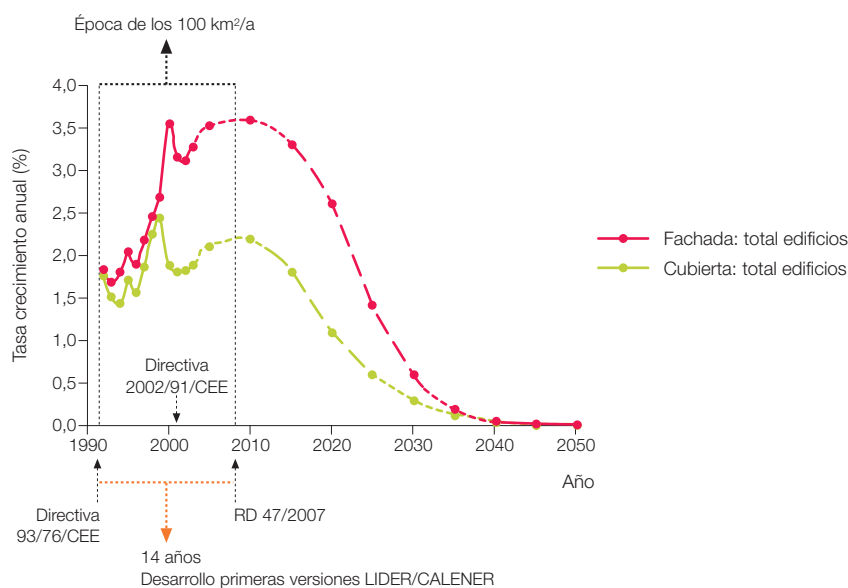
³⁸¹ Sin embargo, los borradores que han circulado hasta ahora sobre la certificación energética de edificios existentes, incluyen un cronograma de implementación que desplaza hasta después de unos ocho años de la entrada en vigor del correspondiente RD el inicio de la certificación de edificios con potencias térmicas instaladas por debajo de 400 kW. Es decir, que si entrara en vigor en 2011, hasta 2019 no se empezaría a activar este mecanismo de mercado ya de por sí de respuesta lenta: plazos excesivos a la luz de las exigencias de cambio de modelo energético que nos imponen las condiciones de contorno de nuestro sistema climático (en 2015 se debería alcanzar el máximo mundial en emisiones de CO₂, por lo que en España debería alcanzarse antes).

³⁸² Esta situación puede darse en los edificios no residenciales (sector terciario), pues a diferencia de los residenciales, su escala de certificación no es absoluta (según los consumos específicos: kWh/m²-a), sino relativa (por comparación del consumo y emisiones del edificio con una referencia que cambia edificio a edificio).

³⁸³ En concreto, esta situación se produce como consecuencia de que las herramientas empleadas para la calificación, no comprueban el cumplimiento o no de las demandas de confort, por lo que basta con dejar de cubrir las demandas de confort para que mejore la calificación energética del edificio (García-Casals, X., 2008-2).

³⁸⁴ Así, por ejemplo, para la electricidad del sistema eléctrico peninsular se considera en la certificación energética de edificios un coeficiente de emisiones de 649 g CO₂/kWh, mientras que el valor total en España para

Figura 218. Tiempos asociados al desarrollo del proceso de certificación de edificios en España contextualizados en el marco del escenario de evolución del sector edificación, que desarrollamos en el informe *Renovables 2050*, en términos de superficie de cubierta y superficie de fachada del total de edificios.



y errores³⁸⁵ que todavía persisten en las herramientas de calificación con un importante efecto sobre la calificación finalmente obtenida, sin duda no han resultado nada beneficiosos para la internalización de la certificación dentro del proceso de definición de los edificios, para impulsar el mercado hacia mayores cotas de eficiencia. Probablemente algunos o todos estos inconvenientes se irán solventando con el tiempo, pero su efecto sobre la dilatación³⁸⁶ del tiempo de respuesta de este mecanismo de incentiación del mercado ya es irremediable.

En la figura 218 contextualizamos los tempos de desarrollo del proceso de certificación energética de edificios en España con el escenario de evolución del sector edificación que planteamos en el informe *Renovables 2050*.

Por otro lado, a lo largo de estos últimos años se ha experimentado un crecimiento relativamente rápido de procedimientos de certificación ambiental de los edificios de carácter voluntario pero reconocido prestigio internacional (LEED³⁸⁷, BREEAM³⁸⁸, etc.). Estas certificaciones tienen un carácter mucho más integral que la certificación energética oficial, aunque su alcance es todavía limitado en relación al total del parque de edificios, y su interacción con el proceso de diseño del edificio permite avanzar en la incorporación de componentes de sostenibilidad. Estas certificaciones han entrado en España en el campo de los edificios nuevos y cabe esperar que con el tiempo se vayan extendiendo a los edificios existentes. Constituyen una herramienta apropiada para incentivar la evolución del sector edificación, pero como mecanismos de respuesta lenta que son, no tienen por sí mismos capacidad de introducir una evolución en escalón.

Por lo que respecta a la planificación asociada a la integración de energías renovables

en los edificios, el PER³⁸⁹ 2005-2010 estableció la planificación³⁹⁰ del desarrollo de las energías renovables hasta 2010. Recogemos a continuación la situación de las distintas tecnologías renovables susceptibles de ser integradas en la edificación:

• Solar Térmica de baja temperatura:

- Objetivo PER para 2010 de 4,9 Mm² (3,43 GW_p a razón de 0,7 kW/m²), con una generación térmica³⁹¹ de 4,4 TWh/a.
- Superficie instalada a finales 2008 (Polo P., 2009): 1,71 Mm² (1,20 GW_p a razón de 0,7 kW/m²).
- La mayoría de la potencia instalada vinculada al sector edificación.
- Evolución prevista: dificultad para alcanzar el objetivo PER 2010 a pesar del carácter obligatorio impuesto por el CTE, y considerable incertidumbre sobre la aportación real de esta potencia instalada, al no haber mecanismo alguno para garantizar su generación de energía. La presencia de un mecanismo vinculado a la generación de energía, más que a la instalación de potencia, del estilo de las tarifas reguladas dentro del Régimen Especial del sistema eléctrico, proporcionaría una mayor garantía de resultado y activación del mercado.

• Solar Fotovoltaica:

- Objetivo PER para 2010 de 0,4 GW_p.
- Potencia instalada hasta 2008 (dentro marco RD 661/07 que introdujo el mecanismo capaz de activar el mercado) de unos³⁹² 3,5 GW_p, la mayoría no en edificios. En 2008 se llegó a instalar³⁹³ una potencia superior a 2,5 GW_p/a.
- En 2008 aparece el RD 1578/08 que corta bruscamente³⁹⁴ el ritmo de desarrollo de la fotovoltaica, introduciendo los cupos de

2008 era de 390 g CO₂/kWh, y en el año 2009 de 270 g CO₂/kWh (CNE), siendo dentro de la península todavía inferiores estos coeficientes.

³⁸⁵ A fecha de redacción de este informe (10/2010), más de tres años y medio después de la entrada en vigor de la certificación energética de edificios nuevos, todavía hay errores como el correspondiente al tratamiento de la permeabilidad de las ventanas que permiten llevar cualquier edificio del sector terciario hasta una calificación-A (la más alta posible) a base de empeorar exageradamente las prestaciones del edificio de referencia.

³⁸⁶ Debe tenerse presente que el proceso de introducción de la certificación energética de edificios en España viene desde 1993.

³⁸⁷ LEED: Leadership in Energy and Environmental Design.

³⁸⁸ BREEAM: BRE Environmental Assessment Method.

³⁸⁹ PER: Plan de Energías Renovables.

³⁹⁰ Actualmente hay publicado un PANER (Plan de Acción Nacional de Energías Renovables) para el periodo 2010-2020, que deberá concretarse en un PER 2010-2020 que todavía no está publicado al redactar este informe (10/2010).

³⁹¹ De acuerdo con la productividad empleada en el PER de 892 kWh/m²-a. es de notar que esta productividad elevada supone usar las instalaciones con elevado CF, y por tanto con SF limitadas. De cualquier forma, al no controlarse la generación de las instalaciones solares, basándose la monitorización del cumplimiento del plan tan solo en la potencia (superficie) instalada, la generación que realmente aporte esta superficie de colectores solares está indefinida.

³⁹² Según la CNE, había 3,35 GW_p facturando.

³⁹³ Tasa que como comentaremos más adelante es del orden de las requeridas para conseguir una descarbonización del sistema eléctrico en los plazos dispuestos para compatibilizar nuestro sistema energético con las restricciones del sistema climático.

³⁹⁴ Es de resaltar que esta situación se ha replicado a finales de 2009 para el resto de tecnologías renovables, introduciendo los mismos instrumentos (cupos y registro de preasignación de retribuciones) con la misma consecuencia final de gran calado: frenar el desarrollo de las tecnologías renovables en nuestro país de forma brusca y

potencia que limitan a un máximo de 0,4 GW_p/a la potencia total a instalar, de los cuales 0,0267 GW_p/a corresponden a las instalaciones en edificación con potencia inferior a 20 kW_p. Otra novedad de este RD fue la creación de un registro de pre-asignación de retribuciones, en disonancia con los planteamientos de la Directiva 2009/28/CE relativa al fomento del uso de las energías renovables, incrementa de forma significativa³⁹⁵ la burocracia y trabas administrativas para desarrollar instalaciones fotovoltaicas, especialmente de forma desproporcionada para el caso de las instalaciones integradas en los edificios por su menor tamaño.

• Biomasa para sector edificación³⁹⁶:

- Objetivo PER para 2010 de 28,6 TWh/a.
- Estimación potencia instalada en 2010 de calderas de biomasa³⁹⁷: 0,27 GW.
- Estimación generación calderas biomasa en 2010³⁹⁸: 1 TWh/a.

• Eólica integrada en edificación:

- No hay objetivos en el PER-2010.
- No hay mecanismos de activación implementados (la mini eólica no dispone de prima específica dentro de régimen especial).

• Bombas de calor aerotérmicas:

- No hay objetivos en el PER-2010.
- No hay mecanismos de activación implementados.

• Bombas de calor geotérmicas:

- No hay objetivos en el PER-2010.
- No hay mecanismos de activación implementados.

Para las otras tecnologías renovables, cuyo desarrollo industrial se ha conseguido activar con el mecanismo de tarifas (eólica³⁹⁹, solar termoelectrica), nos encontramos con una situación muy parecida a la de la fotovoltaica: los valores de la potencia instalada han superado ampliamente los límites planificados en el PER, acercándose rápidamente a los valores de potencia instalada anualmente que necesitaríamos para hacer realidad la transición de nuestro sistema energético en el plazo disponible⁴⁰⁰. Esto debería haberse interpretado como un éxito del mecanismo de apoyo al desarrollo de las renovables en nuestro país en su primera fase, la de despegue. Pero ante esta situación, la respuesta política y regulatoria ha sido introducir escalones bruscos y una gran inseguridad legislativa, truncando de raíz la inercia que habían adquirido los sectores industrial y financiero, y poniendo en serio peligro la continuidad de estos desarrollos en nuestro país, y prácticamente anulando la posibilidad de que podamos desplegar las renovables al ritmo que requeriríamos⁴⁰¹.

Por tanto, podemos concluir que los mecanismos actualmente puestos en juego para el sector edificación son básicamente mecanismos de respuesta lenta (requieren grandes periodos de tiempo para producir cambios significativos), que por ahora⁴⁰² afectan tan solo al parque de edificios nuevos (no incentivan cambio en el gran parque de edificios existentes que hemos construido aceleradamente e ineficientemente a lo largo de los últimos años), y que presentan carencias importantes (y en algunos casos introducen barreras significativas) de cara a materializar la evolución requerida del sector edificación hacia su descarbonización y eficiencia energética.

La evolución del sector edificación hacia mayores niveles de eficiencia y descarbonización puede ser mucho más rápida y contundente

muy poco sensible a la realidad de los mercados que habían permitido situar a nuestro país en posición de abarcar la transformación de nuestro sistema energético en los plazos disponibles. Así, por ejemplo, en el caso de la solar termoelectrica, tecnología que podría jugar un papel fundamental en la descarbonización de nuestro sistema eléctrico, el PER marcaba un objetivo a 2010 de 0,5 GW, mientras que en 2009 había sobre la mesa propuestas de proyectos para desarrollar durante los próximos años con un total de 15,6 GW de potencia que ya habían pagado el aval de punto de conexión. El cupo correspondiente se fijó en el RD Ley 6/2009 con un máximo de 2,4 GW a instalar hasta el año 2013, con el consiguiente frenazo brusco que esto implica para la industria y las entidades financieras que estaban dispuestas a desarrollar esta tecnología.

395 A lo largo del primer año de entrada en vigor del RD 1578/08, el Ministerio de Industria llegó a emitir hasta cuatro o cinco requerimientos adicionales sucesivos de información para dar por completada la admisión en el registro, convirtiendo el proceso en un calvario.

396 El objetivo del PER es sobre el uso total de biomasa térmica, abarcando tanto sector edificación como el industrial, y asciende para 2010 a 47,3 TWh/a. Considerando que la fracción de esta biomasa térmica que corresponde al sector edificación es en 2010 igual al del año 2004 (60,4%), obtenemos una estimación del objetivo de biomasa térmica para el sector edificación en el valor indicado. Por otro lado, es preciso resaltar que esta contribución de la biomasa es principalmente la debida a los usos tradicionales que ya estaban implementados con anterioridad al PER. En efecto, en 1999, la aplicación de la biomasa térmica ascendía ya a 39,9 TWh/a, por lo que el incremento planificado para 2010 es de 7,4 TWh/a en relación a lo que teníamos en 1999 y de 6,8 TWh/a respecto a lo que teníamos en 2004.

397 Este valor constituye tan solo una aproximación de acuerdo con los resultados publicados por el Observatorio Nacional de Calderas de Biomasa (ONCB) correspondientes a septiembre de 2010 (Ramos J. J., 2010). A fecha de septiembre de 2010 el ONCB tenía registrada una potencia total de 450 MW, de los cuales del orden del 60% asumimos que corresponden al

de lo que se está planteando en España. En este sentido resulta ilustrativo fijarse en los programas de edificios de muy bajo consumo que se están impulsando en otros países, así como sus plazos para alcanzar esos objetivos a unos pocos años vista⁴⁰³.

3.7.1.3 Sobre los etiquetados energéticos

Mención especial dentro de los mecanismos de respuesta lenta merecen los etiquetados energéticos.

Dentro del sector edificación es donde primero y de forma más extensa hemos visto evolucionar los etiquetados energéticos. En primer lugar aplicado a distintos equipamientos de consumo doméstico (luminarias, neveras, lavadoras, equipos de aire acondicionado, etc.), y más recientemente sobre los propios edificios⁴⁰⁴, y sobre la electricidad que consumimos.

El etiquetado energético, en concepto, supone un mecanismo de cambio⁴⁰⁵ que pretende empujar el mercado más allá de los requerimientos regulatorios al añadir un valor añadido adicional al producto. Adicionalmente, el etiquetado energético cumple otra importante función, que es la de información al consumidor, lo cual pone en juego el ejercicio de la responsabilidad directa de los ciudadanos sobre la situación del sistema energético.

Por tanto, es fundamental que los sistemas de etiquetado energético sean consecuentes con los objetivos de eficiencia y adaptados a las necesidades reales de evolución del sistema energético⁴⁰⁶.

Lamentablemente la situación actual del etiquetado energético no responde en la mayoría de los casos a estos planteamientos.

Sobre la certificación energética de los edificios, ya hemos comentado más arriba algunos de los aspectos que la separan de la situación deseable. Por lo que respecta al resto de certificaciones energéticas de equipamiento para los edificios, a menudo las limitaciones en su alcance y los bajos niveles de exigencia reducen significativamente su impacto como mecanismos de cambio.

En las certificaciones energéticas de otros equipamientos eléctricos nos encontramos a menudo con exclusiones del proceso de certificación, limitada claridad de los datos asociados a la certificación y/o valores bajos de los requerimientos de eficiencia para situarse en las clases de mayor eficiencia.

Así, por ejemplo, en la certificación de lámparas, cuya certificación viene regulada por el RD 284/1999, nos encontramos para empezar que el ámbito de aplicación se limita a las lámparas de uso residencial, con unos límites de la escala variables en función del flujo luminoso de la lámpara⁴⁰⁷, y que entre estas quedan excluidas las de baja potencia (inferior a 4 W), las de elevado flujo luminoso (superior a 6500 lm), y todas aquellas que incorporen reflector. Por tanto, lámparas como las halógenas dicroicas tan empleadas en los edificios, se encuentran en el mercado sin etiquetado energético alguno, a pesar de que sus eficacias luminosas⁴⁰⁸ son tan solo ligeramente superiores a las de una bombilla incandescente, y muy inferiores a las de una lámpara fluorescente compacta. En la figura 219 vemos plasmados los límites de las clases A y B en función del flujo luminoso. Para valores tipo de los flujos luminosos en una aplicación residencial los límites de las clases B y A son del orden de 20 lm/W y 55 lm/W respectivamente, valores que conviene contrastar con la disponibilidad actual en el mercado (110 lm/W para tubos fluorescentes), y

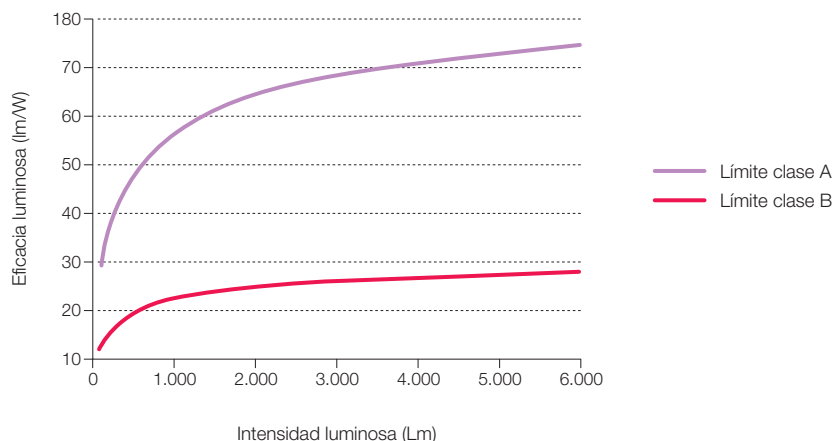
sector edificación (el resto está en aplicaciones industriales), proporcionado una potencia de 270 MW.

398 Estimación de acuerdo con el resultado de potencia registrada por el ONCB (Ramos J. J., 2010). Considerando 270 MW en el sector edificación, operando con un CF medio del 40%, obtenemos una generación de calor útil de 0,95 TWh/a.

399 El factor diferencial de la eólica respecto a las otras renovables que se han activado en el marco regulatorio español (solar fotovoltaica y solar termoeléctrica), es que el despegue comercial de esta tecnología no se ha producido en España, sino que se produjo con anterioridad gracias al apoyo regulatorio en otros países (Dinamarca, EE. UU., Alemania), y aquí en España hemos entrado en la fase de acompañamiento al asentamiento comercial de forma compartida con otros países. En el caso de las tecnologías solares, las hemos pillado en la fase de despegue y es nuestro país el principal foco de implementación, por lo que su vulnerabilidad a la inseguridad regulatoria es tremendamente superior.

400 En estas condiciones, cabe preguntarse ¿a qué obedecen los objetivos de planificación de renovables en España? Evidentemente no es ni el recurso renovable disponible, ni a la urgencia de cambio del sistema energético, ni a la capacidad de desarrollo comercial de las tecnologías. Puesto que es difícil pensar en una razón más importante que las anteriormente expuestas, la pregunta es por lo menos bastante inquietante. De hecho, resulta absurdo que una planificación hecha sin ninguna orientación a objetivos actúe como barrera al desarrollo de las renovables en nuestro país. Un importante signo de maduración de nuestros sistemas político y administrativo sería analizar el origen de esta importante disfunción planificadora y poner los medios para que no se replice en el futuro, pero lamentablemente no parece que esta sea la tendencia establecida.

401 Pero a diferencia de hace 10 años, en los que prácticamente todo el mundo creía que era imposible conseguir alcanzar estos ritmos de despliegue de las renovables por incapacidad de los sectores industrial y financiero, ahora la evidencia se impone y el hecho de no poder desarrollar las renovables al ritmo que requiríamos pasa a ser

Figura 219. Límites de eficacia luminosa para las clases A y B según RD 284/1999.

los valores que se espera alcance la tecnología LED alrededor del año 2020 (230 lm/W).

Respecto a los equipos domésticos de acondicionamiento de aire, su etiquetado energético viene regulado por el RD 142/2003, que excluye a los equipos aire-agua, agua-agua, y a aquellos con potencia superior a 12 kW. El límite de la clase-A para los equipos acondicionadores de aire refrigerados por aire es de $EER^{409} > 3,2$ para aparatos con dos o más unidades interiores, de $EER > 3,0$ para aparatos compactos, y de $EER > 2,6$ para aparatos de conducto único. A modo de contraste, en Japón, bajo la regulación local que impulsa los límites de eficiencia de los aparatos de aire acondicionado hacia los valores de los mejores equipos disponibles en el mercado⁴¹⁰, ya están manejando $EER > 6,5$.

3.7.1.4 Electrificación del sector edificación

Tradicionalmente hemos manejado la idea de que resultaba más eficiente, energéticamente hablando, cubrir la demanda de energía

térmica de los edificios mediante energía térmica⁴¹¹ que mediante energía eléctrica. El concepto subyacente en esta idea es el bajo rendimiento con el que tradicionalmente convertíamos la energía de los combustibles fósiles en electricidad en las centrales térmicas (30-40%). Este concepto también es el que subyace en el planteamiento tradicional de la mayor eficiencia de la cogeneración, pues el aprovechamiento del calor residual producido en la generación de electricidad mediante combustibles fósiles (o cualquier otro combustible químico o nuclear) conduce a un ahorro de energía primaria⁴¹² (y por tanto de emisiones) respecto a la opción de generar independientemente electricidad y energía térmica a partir de combustibles fósiles. Sin embargo, debemos estar dispuestos a revisar estos conceptos a la luz de la evolución de nuestro sistema energético, pues las soluciones más apropiadas para el pasado no tienen por qué ser las más adecuadas en el presente y futuro cercanos.

La elevada descarbonización que cabe esperar que experimente nuestro sistema de generación eléctrica⁴¹³, representa un cambio

responsabilidad exclusiva de nuestro sistema político-administrativo. De hecho, en el contexto actual de limitación de capacidad inversora, nuestro sistema político-administrativo está funcionando como un espanta-inversores, negándonos la posibilidad de acceder a este recurso escaso en los próximos años en los que se impondrá la evidencia de la urgencia de cambio.

402 Hasta fecha de redacción de este informe (10/2010).

403 Sin intención de ser exhaustivos, podemos citar: la regulación en el Reino Unido, con el objetivo de que todos los edificios residenciales sean neutros en carbono el año 2016; "Plus Energie" en Francia para 2020; ZEB (Zero Energy Buildings) en EE. UU.; NATHERS 10-star en Australia; NZE Housing en Canadá; "Zero Utility Cost Houses" en Japón; "Null Energiehaus" en Alemania; "Passivhaus" adoptado como estándar obligatorio en Suecia y varias ciudades de Alemania; "Architecture 2030 Challenge" en EE. UU., con un 60% de reducción de consumo en 2010, un 80% reducción para 2020, y alcanzando la neutralidad para 2030; La regulación Danesa estableciendo como objetivo para los edificios nuevos a partir de 2015 un consumo menor que el del Passive Haus, reduciéndolo a la mitad para 2020; etc. La propia nueva Directiva de prestaciones energéticas de los edificios (2010/31/EU) establece el objetivo de que a partir de diciembre de 2020 todos los edificios nuevos sean de consumo casi cero.

Uno de los planteamientos recientes más ambiciosos y que muestran cómo de rápido puede desarrollarse el potencial del sector edificación, así como la urgencia en acometer de forma decidida actuaciones en este sector, es el de la nueva regulación sobre el sector edificación en el Reino Unido, diseñada de forma orientada a objetivos para hacer viable el objetivo global de reducir en un 80% las emisiones de GEI en este país para el año 2050. En esencia esta regulación apunta a la neutralidad en carbono de los edificios para 2016-2019, para lo cual, sin embargo, ya se han dado cuenta de que es preciso habilitar mecanismos de respuesta más rápida que permitan materializar cambios en escalón (CCC, 2009). Si tomamos como referencia la regulación energética de los edificios en el año 2006, la nueva regulación se propone reducir un 25% en 2010 y un

radical que nos fuerza a modificar el concepto tradicional de que la generación térmica con calderas o incluso la cogeneración representan las soluciones más eficientes.

En efecto, el coeficiente de emisiones del sistema eléctrico Español en 2008 fue de 390 g CO₂/kWh_e (ref CNE, 2009), siendo inferior para el sistema eléctrico peninsular (en torno a 325 g CO₂/kWh_e)⁴¹⁴. Ya incluso en estas condiciones, teniendo en cuenta que una caldera de gas natural⁴¹⁵ de elevado rendimiento (95%) produce unas emisiones de 215 g CO₂/kWh_t, la electrificación de la demanda térmica del edificio mediante bombas de calor con unas prestaciones disponibles en el mercado Español (COP = 3.5) nos conduciría a unas emisiones de 93 g CO₂/kWh_t en el sistema eléctrico peninsular⁴¹⁶, y para el caso del estándar Japonés para las bombas de calor domésticas en 2010 (COP ≈ 6,5) se podría reducir a 50 g CO₂/kWh_t. En el año 2009 el coeficiente de emisiones del sistema eléctrico Español fue de 270 g CO₂/kWh_e (ref CNE, 2010), por lo que la comparativa resulta todavía mucho más favorable para la solución electrificada. Por tanto, las emisiones asociadas a la cobertura de la demanda térmica mediante electricidad, incluso con el sistema eléctrico actual y siempre que se empleen bombas de calor eficiente, son inferiores a las que nos proporciona una caldera de elevado rendimiento⁴¹⁷.

Esta situación cabe esperar que se acentúe mucho más en los próximos años, en los que asistiremos a una rápida descarbonización del sistema de generación eléctrica mediante energías renovables. En un sistema eléctrico con bajo coeficiente de emisiones (por introducción de renovables), y empleando bombas de calor de buenas prestaciones, incluso la cogeneración pierde su sentido al dejar de proporcionar ahorros de energía primaria⁴¹⁸.

De hecho, las bombas de calor hay que entenderlas como tecnologías que aprovechan energía térmica de origen renovable⁴¹⁹ (solar para ser más precisos) almacenada en el aire (bombas aerotérmicas), o en la tierra (bombas de calor geotérmicas). En efecto, en una bomba de calor con COP = 4, trabajando en modo calor, $\frac{3}{4}$ partes de la energía térmica aportada provienen de energía renovable (solar), y el $\frac{1}{4}$ restante proviene de la electricidad consumida por la bomba de calor, con una contribución renovable que irá creciendo rápidamente a lo largo de los próximos años. Al ir aumentando el COP de las bombas de calor, aumenta la aportación renovable local, y al ir reduciéndose el coeficiente de emisiones del sistema eléctrico, aumenta la aportación renovable “centralizada”⁴²⁰. Eventualmente, 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 ACS) sería 100% renovable.

Por tanto vemos cómo 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 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, se abren dos⁴²¹ vías de satisfacer esta demanda energética: sistemas autónomos de energías renovables de origen térmico, y electrificación con bombas de calor que se apoyan en un sistema eléctrico interconectado⁴²² cuya generación esté basada en energías renovables.

44% en 2013 el consumo energético de los nuevos edificios residenciales, para alcanzar en 2016 su neutralidad en carbono. Para 2019 el requerimiento de neutralidad en carbono quedará extendido al resto de edificios no residenciales, y para 2030 se habrá completado la rehabilitación energética de todo el parque de edificios residenciales.

404 Actualmente los edificios nuevos, pero a lo largo del año 2010 se esperaba que estuviera disponible también el etiquetado energético de los edificios existentes (a fecha de escritura de este informe en el 10/2010 todavía no está disponible).

405 Sin embargo, al actuar de forma tan indirecta sobre el mercado, constituye un mecanismo de cambio lento.

406 De lo contrario, introducen ruido de fondo sin aportar ninguna contribución al cambio y confundiendo al consumidor con el consecuente debilitamiento del efecto de su corresponsabilización con la situación actual del sistema energético.

407 Con menor exigencia cuanto más bajo sea el flujo luminoso.

408 Una lámpara de este estilo caería por la clase-C del etiquetado energético.

409 EER: índice de eficiencia energética.

410 Top Runner Regulations.

411 Calderas de combustible.

412 Cuando este ahorro de energía primaria es superior a un 10% se califica a la cogeneración como de alta eficiencia.

413 Según la creciente penetración de energías renovables que tendremos que impulsar en los próximos años si queremos tener opciones de estabilizar el sistema climático de nuestro planeta.

414 Resulta interesante observar que el coeficiente de emisiones de la electricidad peninsular implementado en las herramientas de certificación energética oficiales en España es de 649 g CO₂/kWh_e (ref IDAE, 2009), totalmente alejado de los valores actuales, lo que puede contribuir a distorsionar la calificación energética de edificios, y a desplazar las soluciones adoptadas hacia mayores emisiones.

415 Con cualquier otro combustible fósil las emisiones serían superiores.

416 Estas son unas estimaciones preliminares, pues dado que el COP de una bomba de calor depende tanto de la evolución de las condiciones ambiente como de su estado de carga, el ahorro efectivo en emisiones depende del emplazamiento climático, del dimensionado del

Cuál de estas dos vías se imponga depende de varios factores, entre los cuales, en primera instancia podemos citar los dos siguientes:

- Sinergias entre los distintos servicios energéticos a cubrir. En este sentido hay que tener en cuenta que a medio plazo, una vez aplicadas las medidas de eficiencia energética, los servicios energéticos de climatización del edificio (calefacción y refrigeración) van a ceder su actual protagonismo sobre la demanda energética total del edificio, a otros servicios que forzosamente tienen que satisfacerse vía eléctrica (iluminación, equipamiento, bombas, ventiladores, etc.). En estas condiciones, el emplear el mismo vector energético (la electricidad) para cubrir las demandas energéticas de climatización, ofrece ventajas logísticas respecto a la opción de introducir nuevos vectores energéticos.
- Costes económicos de las distintas opciones. En el marco de mercado libre, las opciones de menor coste se imponen a las de costes superiores. En este aspecto, la opción eléctrica basada en bombas de calor eficientes y un sistema eléctrico interconectado abastecido por energías renovables tiene todos los puntos para resultar económicamente más favorable⁴²³ que los sistemas autónomos basados en energías renovables térmicas.

En (Rong F., Clarke L., Smith S., 2007) se presentan escenarios de evolución de la demanda energética del sector edificación hasta 2095 en EE. UU. Incluso bajo el contexto BAU la previsión apunta a una creciente electrificación del sector espoleada por tres factores: un mayor incremento del coste de los combustibles fósiles respecto a la electricidad (que ve atenuado su incremento de coste por la posibilidad de recurrir a otras fuentes de

energía primaria no fósil), la aparición de tecnologías eléctricas más eficientes para hacerse cargo de la demanda de servicios (especialmente bombas de calor para calefacción, que es la demanda dominante en EE. UU.), y finalmente por el gran incremento de demanda de servicios asociados con electrodomésticos, equipamiento de oficina y tecnología de la información. Pero en un escenario con limitación a las emisiones de CO₂ analizado por esta referencia, esta tendencia a la electrificación se acentúa de forma notable debido a la mayor diferencia de precios entre los combustibles fósiles (gravados con impuestos por emisiones de GEI) y la electricidad, que consigue estabilizar sus costes en relación a los combustibles fósiles mediante la mayor integración de renovables en el sistema.

Más allá de los factores hasta aquí comentados, en un futuro muy próximo y asociados al desarrollo de las redes inteligentes, pueden aparecer elementos adicionales tales como los mecanismos de mercado asociados a la gestión de la demanda, que hagan que la opción de electrificación completa del sector residencial resulte todavía más interesante y favorable frente a las opciones de energías renovables térmicas autónomas.

3.7.1.5 Sobre el uso de biomasa en aplicaciones energéticas

Ante este planteamiento de electrificación del sector electrificación conviene profundizar un poco más sobre una de las alternativas autónomas de generación de energía térmica que en los últimos años se está introduciendo en nuestro país y que ya hace algunas décadas que se extiende por países del centro y norte de Europa: la combustión de biomasa⁴²⁴. Y al mismo tiempo resulta conveniente contextualizar esta discusión en el contexto más amplio

sistema y de las condiciones de uso del edificio.

417 El "secreto" de esta afirmación aparentemente contradictoria es que una bomba de calor eficiente mayoritariamente emplea energía térmica ambiente para cubrir la demanda de energía térmica del edificio, y su consumo eléctrico representa una pequeña fracción del calor ambiente aprovechado.

418 Más adelante elaboraremos esta afirmación con más detalle.

419 Y así lo refleja la nueva Directiva 2009/28/CE relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. En esta Directiva solo se considera la aportación renovable de las bombas de calor para máquinas con un COP mínimo, pendiente de definirse completamente para el año 2013, pero que para España estará en torno a $COP_{min} = 2,6$ todavía. Adicionalmente, esta Directiva considera como aporte renovable el total de aporte térmico procedente del ambiente, y no añade consideraciones adicionales relativas al consumo eléctrico en el que incurre la bomba de calor para bombear este aporte térmico ambiente más allá que la anteriormente mencionada exigencia de una eficacia mínima.

420 El término "centralizado" debe interpretarse aquí como "procedente de la red eléctrica", pero no implica ningún posicionamiento sobre la participación de la generación distribuida en dicha red eléctrica.

421 Y todas las combinaciones posibles entre ambas.

422 El término "interconectado" lo usaremos para describir el conjunto del sistema eléctrico, y se corresponde a lo que en terminología actual denominaríamos "centralizado". Sin embargo, al evolucionar hacia grandes aportaciones de la generación distribuida a base de energías renovables, el carácter "centralizado" se irá diluyendo, quedando como atributo principal de este sistema eléctrico la interconexión que facilita los flujos de información y energía y la integración del sistema energético. Así mismo, emplearemos el término "autónomo" para describir esas aplicaciones que en terminología actual podríamos haber denominado "descentralizadas", pero que al descentralizarse la generación en el sistema eléctrico interconectado, el atributo diferencial que retienen es el de "autónomo" por la carencia de transferencia de flujos de energía e información con el sistema eléctrico interconectado.

de la fijación de carbono en forma sólida dentro de la biosfera. De esta discusión podemos extraer conclusiones interesantes en relación por ejemplo a la priorización en el uso de los distintos tipos de biomasa, y a su claro distanciamiento de otros planteamientos de fijación de carbono mediante biomasa.

En los últimos años las aplicaciones térmicas de la biomasa han crecido significativamente en nuestro país debido, por un lado, a la entrada de equipos avanzados de combustión de biomasa procedentes de centro y norte de Europa, y por otro lado a la proliferación de los indicadores en términos de emisiones de CO₂ para evaluar la eficiencia energética de los edificios (junto a la consideración de emisiones netas nulas que se ha asignado a la biomasa dentro de estos indicadores). En este contexto, las soluciones basadas en la combustión de la biomasa conducen a una mayor facilidad de dar cumplimiento a la normativa en términos de eficiencia energética, y de alcanzar mayores calificaciones energéticas de los edificios que las incorporen.

En efecto, en España, si tomamos como ejemplo el cumplimiento del CTE⁴²⁵ en lo referente al requerimiento de incorporación de energía solar térmica en todos los edificios nuevos para producción de ACS (HE4), este requerimiento resulta mucho más sencillo, y a menudo más económico, de satisfacer sustituyendo la instalación solar térmica por una caldera de biomasa, con lo que además se incrementa la cobertura con fuentes renovables en la producción de ACS desde el valor siempre inferior⁴²⁶ al 100%, que puede proporcionar una instalación solar térmica hasta el 100% que aporta una caldera de biomasa, e incluso más allá, porque en muchos casos la instalación de biomasa puede emplearse también para cubrir el total de la demanda de calefacción, que en muchos emplazamientos

climáticos y para muchas tipologías de edificios es en la actualidad significativamente más elevada que la de ACS.

Pero aún es más, la certificación energética de edificios en España concede con facilidad una calificación-A (la mejor) a cualquier edificio que implemente como tecnología de calefacción una caldera de biomasa, debido a que considera la biomasa como neutra en términos de emisiones de CO₂, y a que el indicador que se emplea para la calificación energética son las emisiones de CO₂ y no el consumo energético. En estas condiciones es fácil de entender que el uso de la biomasa puede inhibir la aplicación de medidas de eficiencia energética en los edificios, pues el beneficio a obtener por aplicación de estas medidas de cara a la calificación energética es prácticamente nulo, y su coste siempre aumenta una vez tomada la decisión de implementar una caldera de biomasa, al mismo tiempo que conduce a un importante incremento de la biomasa que quemamos.

Sin embargo, tal y como se apunta en (Nick Grant, Alan Clarke, 2010)⁴²⁷, esta situación que también se está produciendo en el Reino Unido⁴²⁸, y que puede verse fuertemente amplificada en toda la UE al incrementar los requerimientos de reducción de emisiones e introducir mecanismos de apoyo FIT⁴²⁹ para el calor de origen renovable, puede conducirnos en la dirección contraria a la deseada si no se introduce un poco más de rigor en la consideración de la biomasa en relación a las emisiones de CO₂.

En efecto, al quemar la biomasa, su coeficiente de emisiones in situ es de unos⁴³⁰ 460 g CO₂/kWh, frente a los 215 g CO₂/kWh del gas natural con una buena caldera, es decir, más que el doble. Evidentemente esto no quiere decir ni muchísimo menos que sea

⁴²³ En (García-Casals X., 2006) puede encontrarse un estudio específico para el caso de los sistemas de refrigeración solar.

⁴²⁴ Aplicación que todavía se puede extender mucho más si a los mecanismos de apoyo existentes se le añade la incorporación de una FIT (feed in tariff) como se plantea en las propuestas de la UE para incentivar las aplicaciones de generación de calor de acuerdo con renovables.

⁴²⁵ CTE: Código Técnico de la Edificación.

⁴²⁶ El requerimiento de la HE4 del CTE oscila entre el 30% y el 70% según la zona climática en la que se ubique el edificio y el tipo de energía de apoyo que se emplee.

⁴²⁷ Sin embargo discrepamos de las conclusiones de esta referencia en cuanto a la comparación de la biomasa con los combustibles fósiles, pues la argumentación presentada en esta referencia falla en la consideración de los escalones temporales de desplazamiento de carbono de la biomasa a la atmósfera, aspecto radicalmente distinto a la incorporación adicional de carbono al ciclo de la biosfera tal y como argumentaremos a continuación.

⁴²⁸ Donde ya se están apreciando señales (como el incremento del precio de la madera) de que el crecimiento del uso de la biomasa está empezando a desplazar otras actividades basadas en el procesamiento de la madera.

⁴²⁹ FIT: Feed In Tariff. Tarifas de apoyo a la introducción de energías renovables como las que actualmente existen para el sistema eléctrico.

⁴³⁰ Considerando un 78% para el rendimiento estacional de la caldera de biomasa.

mejor quemar gas natural que quemar biomasa, pues por un lado la quema de gas natural inyecta una cantidad adicional de carbono al ciclo del carbono de la biosfera, mientras que la biomasa usa un carbono que ya estaba incorporado en este ciclo, y por otro lado la quema de gas natural agota un recurso no renovable, mientras que la biomasa, sí está ligada a la reposición del recurso mediante producción de una cantidad de biomasa equivalente a la quemada, y constituye un recurso renovable. Pero esta afirmación sí que quiere llamar la atención sobre el hecho de que las emisiones in situ asociadas al uso térmico de la biomasa no son nulas, sino más bien bastante elevadas⁴³¹, motivo por el que es preciso proceder a evaluar con más detalle las implicaciones de estas emisiones, para discriminar si es preciso diferenciar entre distintos tipos de biomasa, o introducir condicionantes al uso de la misma, desde la perspectiva del objetivo final de estabilizar la concentración atmosférica de CO₂.

El argumento en el que se apoya la consideración de neutralidad en términos de CO₂ del uso de biomasa es el mismo que está asociado a su carácter renovable: si la quema de la biomasa está ligada a la producción de una cantidad de biomasa equivalente a la quemada, la cantidad de carbono que fijamos en esa producción de biomasa es aproximadamente equivalente a la que introducimos en la atmósfera durante su combustión, por lo que su efecto puede considerarse globalmente neutro. Pero desde el punto de vista de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, debemos prestar atención a que este argumento de neutralización⁴³² de las emisiones in situ de la biomasa mediante la fijación de CO₂ asociada a la producción de esa biomasa solo se aplica en el caso de que el uso de la misma para combustión no esté sustituyendo a otro uso posible de la biomasa

con una mayor eficacia de fijación de CO₂, como puede ser la fijación de ese CO₂ por periodos de tiempo mucho más largos en la forma de productos no combustibles (vigas de madera para edificación, muebles, aislamiento térmico y acústico para los edificios, etc.).

Para entender mejor la justificación de este argumento, así como para poder diferenciar las implicaciones del uso de los distintos tipos de biomasa, conviene detenerse un poco a discutir con más detalle estos conceptos e introducir alguna cuantificación.

El carbono presente en la biosfera evoluciona a lo largo de un ciclo en el que va pasando sucesivamente de forma gaseosa en la atmósfera a forma sólida en la biomasa. Para una situación de equilibrio dinámico dada de este proceso cíclico, el carbono que se encuentra en forma gaseosa (y que por tanto produce efecto invernadero) es un porcentaje fijo del total de carbono en la biosfera.

Por otro lado, cada proceso de fijación de carbono gaseoso por la biomasa se caracteriza por un *tiempo de retención* de ese carbono en forma sólida. Este tiempo de retención puede ir desde unas décadas para los procesos de descomposición natural⁴³³, hasta del orden de 200-300 años⁴³⁴ para la biomasa que incorporamos en procesos productivos como por ejemplo componentes de madera o derivados en los edificios.

Mientras no modifiquemos los usos que hacemos de la biomasa, el porcentaje de carbono de la biosfera que se encuentra en forma gaseosa permanecerá aproximadamente fijo⁴³⁵, pero al introducir una modificación sobre los usos de la biomasa ese porcentaje se alterará, y con él el efecto invernadero que cause ese carbono.

431 Más adelante cuantificaremos cómo de elevadas.

432 Que en cualquier caso no siempre habrá una neutralización completa al considerar tanto los efectos de emisiones positivas por el procesamiento, cultivo y transporte de esa biomasa, como por el contrario, los efectos de fijación por la parte no recolectada de las plantas que generaron esa biomasa. Los coeficientes de emisión oficiales en el Reino Unido oscilan entre 15 g CO₂/kWh para las astillas y 37 g CO₂/kWh para los pellets ("The Standard Assessment Procedure, revised emission factors for the National Calculation Methodologies", Marzo 2009, BRE).

433 En el caso de la descomposición natural de la madera, el tiempo de retención puede ser del orden de 100 años, y al cabo de este tiempo todavía queda un 10-15% de la biomasa original que está tan incorporada en los procesos geobiológicos del suelo que podría considerarse permanentemente fijada (Waste Management Options and Climate Change: Final Report to European Commission, DG Environment Alison Smith, Keith Brown, Steve Oglvie, Kathryn Rushton and Judith Bates AEA Technology July 2001).

434 De forma conservadora, formado por el tiempo de vida útil del edificio, más el tiempo de degradación natural (retardado por los tratamientos que se le han dado a esa madera) que experimenta posteriormente ese componente del edificio (despreciando posibles reutilizaciones de esa madera).

435 Siempre que no haya otros procesos naturales que modifiquen los tiempos de retención de distintos tipos de biomasa, como los incendios. Estos otros efectos también son importantes en el balance global, pero no forman parte de este análisis, al no ser parte del sistema energético.

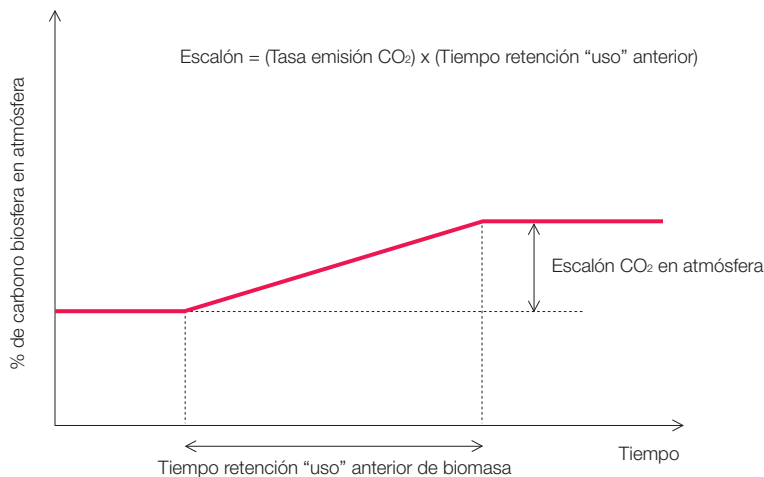
La combustión de la biomasa con fines energéticos, cuando la biomasa que quemamos tenía anteriormente asignado otro “uso” distinto (incluyendo entre los posibles “usos” anteriores los procesos de degradación natural), introduce una alteración en ese equilibrio y desplaza una parte del carbono de la biosfera hacia la parte gaseosa. La cantidad de carbono que se desplaza a la fase gaseosa es la que quemamos durante el tiempo de retención en fase sólida que tenía el “uso” anterior que se hacía de esa biomasa. Una vez transcurrido este tiempo se alcanza una nueva situación de equilibrio dinámico en el ciclo del carbono mientras se mantenga ese nuevo uso de combustión. Es decir, la nueva aplicación de combustión de la biomasa ha introducido un escalón en la cantidad de carbono atmosférico que se ha ido incrementando, de forma gradual, durante un periodo igual al tiempo de retención del “uso” anterior que

se daba a esa biomasa. La figura 220 ilustra gráficamente estos conceptos.

Pongamos por ejemplo el uso de biomasa residual con fines energéticos que, a priori, podría parecer el primer tipo de biomasa a aprovechar energéticamente. El “uso” como residuo de esa biomasa tenía asociado un tiempo de retención determinado, por lo que su aplicación energética mediante combustión introducirá un escalón en la cantidad de CO₂ atmosférico, igual a la tasa de emisión de CO₂ como motivo de esa combustión multiplicado por el tiempo de retención del “uso” anterior (proceso de degradación natural por ser una biomasa residual).

En el caso de que la biomasa empleada con fines energéticos desplace un uso anterior de la biomasa, como la elaboración de productos derivados de la madera para su aplicación en la edificación, dado que el tiempo de

Figura 220. Generación del escalón de desplazamiento de CO₂ de la biosfera de su forma sólida a la atmósfera al introducir un proceso de combustión de la biomasa que desplaza a un “uso” anterior de la biomasa que tenía un determinado tiempo de retención del carbono en forma sólida.



retención de este “uso” de la biomasa es más elevado que para la biomasa residual⁴³⁶, el escalón en la cantidad de CO₂ atmosférico será mayor de forma proporcional al ratio de los tiempos de retención.

Si en algún momento se invierte la situación y ese uso de la biomasa con fines energéticos se retorna a su uso original y se mantiene esa situación durante un tiempo igual al de retención del uso original, el escalón en la cantidad de CO₂ atmosférico se reproduce en dirección contraria. En este caso el tiempo para reestablecer el CO₂ a la atmósfera es lo suficientemente grande, del orden de algunos siglos⁴³⁷, para que tenga el potencial de proporcionar una contribución positiva a la estabilización del sistema climático.

En el caso de que la biomasa empleada con fines energéticos proceda de cultivos energéticos que no desplacen ningún uso anterior de la biomasa⁴³⁸, y de que se garantice en base anual la equivalencia entre la biomasa quemada y la generada en las plantaciones, esta situación no altera el equilibrio del ciclo del carbono, por lo que no conduce a un incremento en la cantidad de CO₂ en la atmósfera. Por tanto, este tipo de biomasa es la única que podría recibir un crédito completo de neutralidad en términos de carbono, mientras que en los casos anteriores, se le debería imputar a ese uso de la biomasa su contribución en la producción del escalón de cantidad de carbono atmosférico⁴³⁹. Esta contribución se podría evaluar como el producto de la liberación de carbono in situ, asociada a la combustión de esa biomasa (460 g CO₂/kWh)⁴⁴⁰, por un coeficiente que fuera el mínimo entre la unidad y el ratio entre el tiempo de retención del uso anterior de la biomasa y la vida útil de la caldera⁴⁴¹. Este planteamiento se podría aplicar también a los biocombustibles, bien fueran para aplicaciones

de transporte o para aplicaciones en edificación: tan solo aquellos procedentes de cultivos energéticos que no sustituyan a otros tipos de cultivo como los alimenticios⁴⁴², ni que desplacen otro ecosistema natural con producción de biomasa, podrían considerarse como bajos⁴⁴³ en términos de emisiones, mientras que a cualquier otra situación debería cargársele la parte del escalón de cantidad de CO₂ atmosférico que le corresponda.

A modo de cuantificación, para coger el pulso a la magnitud del problema, que nos puede suponer una consideración errónea de la neutralidad de la biomasa empleada con fines energéticos en el sector de la edificación, supongamos que nos planteamos la cobertura del conjunto de la demanda térmica para calefacción y ACS del sector edificación con una biomasa cuya combustión sustituye a otro uso de la biomasa con un tiempo de retención mayor o igual a los 20 años de vida útil de las calderas⁴⁴⁴. En este caso, la contribución de la combustión de esa biomasa a las emisiones de CO₂, efectivas en incrementar la cantidad de carbono en la atmósfera según la demanda del año 2007 (según balances AIE), serían de 57 MtCO₂/a⁴⁴⁵, que respecto a la opción de cubrir esa demanda térmica con otras fuentes de energía renovable, constituirían las emisiones netas adicionales, y que representarían un incremento del 62% frente a las emisiones imputables al uso de energía final total en el sector edificación durante el año 2007 (OSE, 2009), suponiendo que la biomasa sustituyera al gas natural⁴⁴⁶. Pero es más, en un contexto BAU en el que no se incentivara radicalmente la eficiencia energética⁴⁴⁷, la demanda térmica de los edificios seguiría creciendo, por lo que la magnitud del escalón de desplazamiento de CO₂ desde la biomasa a la atmósfera se intensificaría, llegando a unas tasas del orden de 78 MtCO₂/a para el año 2050⁴⁴⁸ a partir de cuyo

436 En efecto, pues al tiempo de degradación natural hay que sumarle el tiempo asociado al uso al que se aplica la biomasa (que en el caso de emplearla como elemento estructural de un edificio puede ser del orden de 100 años), e incrementar el tiempo de degradación natural como consecuencia de los tratamientos de estabilización a los que ha sido sometida, lo cual fácilmente puede conducir a un tiempo de retención total del orden de 300 años, superior al tiempo que hemos necesitado para desestabilizar el clima mediante la combustión de productos fósiles. Adicionalmente debemos tener en cuenta que esos componentes confeccionados a partir de la biomasa sustituyen a otros materiales en la edificación con un contenido energético y en carbono mucho más elevado (consideremos por ejemplo la sustitución de marcos de ventanas de aluminio con marcos de madera).

437 Para el caso de la biomasa empleada para productos de edificación, podríamos estar hablando de un periodo de unos 600 años para restablecer el escalón de desplazamiento de CO₂ a la atmósfera, suponiendo que la aplicación de combustión se mantuviera solo durante el periodo de tiempo necesario para generar el escalón completo. Por tanto, aunque el efecto pueda no ser “definitivo” como lo es la liberación de carbono contenido en combustibles fósiles, su periodo característico es muy grande respecto al tiempo disponible para estabilizar la concentración de CO₂ atmosférico. Es más, si al final queremos volver a revertir el escalón para evitar que sea definitivo, ¿por qué incentivar ahora el proceso que produce el escalón?

438 Esto excluye la posibilidad de producir cultivos energéticos en un área que anteriormente tenía una productividad natural de biomasa. Y además limita mucho el potencial de biomasa disponible: en términos de energía primaria, el recurso total de biomasa en la España peninsular podría ser de 426 TWh/a, de los cuales 273 TWh/a provienen de cultivos energéticos (GP, 2005).

439 Más allá de esta imputación en emisiones, de cara a los procesos de calificación energética de edificios, parecería más correcto emplear otro indicador en lugar de las emisiones, que tuviera en cuenta por un lado la demanda de energía del edificio, y por otro, la parte de esa demanda cubierta con energías renovables. En efecto,

momento todavía seguirían creciendo, y estas tasas de emisión se prolongarían durante un periodo del orden de 300 años (tiempo de retención del “uso” original de esa biomasa) para generar el escalón total de desplazamiento de CO₂ desde la biomasa a la atmósfera. Por tanto, podemos concluir que el efecto no es ni mucho menos despreciable, y que, por tanto, es preciso prestar una mayor atención a la cualificación de los distintos tipos de biomasa para sacar crédito de la neutralidad en términos de emisiones.

Si a estas consideraciones que de por sí ya recomiendan el limitar el uso de la biomasa con fines energéticos, le añadimos el potencial limitado del recurso biomasa que tenemos en nuestro país, y las potenciales aplicaciones del mismo en otros sectores como el transporte o la industria, fácilmente se puede entender que en el contexto E3.0 no hayamos contado a largo plazo con la aportación de la biomasa para la cobertura de la demanda de energía térmica en el sector edificación. Esto no quita que en el proceso de transición desde el contexto BAU al E3.0, la biomasa pueda jugar un importante papel en la introducción de recursos renovables en el sector edificación, pero creemos que esta contribución transitoria debería guiarse para evitar que condujera a una distorsión del efecto final perseguido. En concreto, el orden de prioridad en el uso de las biomásas con aplicaciones energéticas, desde la perspectiva de su impacto en las emisiones de CO₂, deberían ser los cultivos energéticos no sustitutivos de otro proceso de producción de biomasa⁴⁴⁹, las biomásas residuales, y por último las biomásas sustitutivas de otro uso⁴⁵⁰ ya establecido. Adicionalmente, a cada una de estas biomásas debería asignársele su correspondiente coeficiente de emisiones para evitar distorsionar los resultados de los mecanismos de incentiación de la reducción de GEI.

Hay otros dos temas indirectamente relacionados que merece la pena aclarar: la comparación del uso de biomasa con el de combustibles fósiles y la opción de utilizar la biomasa para introducir escalones negativos en la cantidad de CO₂ atmosférico.

El tratamiento del uso de los combustibles fósiles bajo esta perspectiva es radicalmente distinto al de la biomasa. En el caso de la biomasa veíamos que en el peor de los casos (biomasa no neutra) introducía un escalón en la cantidad de CO₂ atmosférico con posibilidad de ser revertido en el futuro, sin alterar la cantidad total de carbono en la biosfera. Para el caso de la combustión de productos fósiles, cada gramo de CO₂ liberado incrementa el CO₂ en la biosfera de forma irreversible, lo que altera la cantidad de CO₂ atmosférico. En este contexto, los planteamientos de fijación (sumideros) de CO₂ atmosférico mediante biomasa, para compensar las emisiones debidas a la combustión de productos fósiles, resultan totalmente inadmisibles. En efecto, si las masas de biomasa a las que se quiere atribuir ese efecto de sumidero ya existían en la biosfera, su efecto de compensación sobre el CO₂ adicional inyectado en el ciclo del carbono por la combustión de fósiles es nulo. Si por el contrario se plantan masas adicionales de biomasa que no desplazan ningún ecosistema anterior con productividad de biomasa, esta plantación adicional genera un escalón de signo negativo sobre la cantidad de CO₂ en la atmósfera, pero debido al carácter adicional del CO₂ liberado por la combustión fósil, la única opción para compensar ese efecto es que se garantizara por siempre (indefinidamente en el tiempo) la reposición de esa nueva masa de biomasa al terminar su tiempo de retención, pues de lo contrario, al terminar este periodo de tiempo, el escalón se revertiría a su situación original deshaciendo el efecto sumidero. Y puesto que es imposible

en principio no parece adecuado que dos edificios que operan con biomasa neutra y que tengan las mismas emisiones, obtengan la misma calificación cuando uno de ellos lo hace con un consumo muy inferior de biomasa por ser más eficiente (siendo como es la biomasa un recurso escaso y muy valioso dentro del sistema energético).

440 El valor de este coeficiente de emisiones depende del rendimiento de la caldera de biomasa empleada. Los 460 g CO₂/kWh se corresponden a un rendimiento medio estacional del 78%.

441 Así, por ejemplo, en el caso de emplear una caldera de biomasa con 20 años de vida útil y que emplea como combustible biomasa residual con un tiempo de retención del carbono de 10 años (este valor es muy bajo y sirve tan solo para ilustrar el ejemplo, pero hay biomásas residuales con tiempos de retención muy superiores), las emisiones in situ (a parte habría que añadirle las de transporte y procesado) a imputar a esa aplicación energética de la biomasa serían de $460/2 = 230$ g CO₂/kWh. Si por el contrario el combustible empleado por esta caldera desplaza un uso de biomasa para fabricar vigas de madera para la edificación, con un tiempo de retención de 300 años, las emisiones in situ a imputar a esa aplicación energética de la biomasa serían de 460 g CO₂/kWh. Y si el combustible procede de un cultivo energético de biomasa que no desplaza ninguna otra aplicación de la biomasa, las emisiones in situ a imputar a esa aplicación energética de la biomasa serían nulas, pero habría que añadirle las emisiones correspondientes a procesado y transporte de ese combustible.

442 De tiempo retención carbono más elevado.

443 En este caso estarían más lejos de la neutralidad por los mayores consumos asociados a la producción de los biocombustibles a partir de la biomasa.

444 Situación muy fácil si consideramos que en el caso de aplicaciones de madera en la construcción, el tiempo de retención puede ser del orden de 300 años.

445 Para ubicar este dato en su magnitud, basta mencionar que las emisiones totales imputables al uso final de energía en el sector edificación (no tan solo las asociadas a la cobertura de la demanda térmica) durante el año 2007 fueron de 51,8 MtCO₂/a (OSE, 2009).

446 Insistimos en que esta comparativa no implica que el gas natural (o cualquier fósil)

garantizar esa reposición indefinida de la nueva masa forestal, la compensación sobre el nuevo CO₂ introducido por la combustión fósil también es nula. Por tanto, la única opción para los combustibles fósiles es dejar de quemarlos.⁴⁵¹

Del mismo modo también tenemos opción de introducir escalones negativos en la cantidad de CO₂ atmosférico si desplazamos el equilibrio del ciclo del carbono hacia el carbono incorporado en la biomasa, pero hay que ser cautelosos en su alcance y valoración. En el caso de incorporar madera en componentes de los edificios (vigas, marcos de ventanas, puertas, aislamientos, muebles, etc.) nos encontramos con dos opciones en función de que la madera empelada provenga o no de explotaciones sostenibles:

- Si la madera no proviene de explotaciones sostenibles, su incorporación en productos para los edificios puede introducir un escalón de reducción de CO₂ en la atmósfera que, en todo caso, se mantendrá tan solo mientras se mantenga esa nueva actividad⁴⁵², para revertirse al cesar esta actividad. El desarrollo del escalón se iniciaría en cualquier caso, no al iniciar la nueva actividad, sino que aparecería desfasado un tiempo igual al del tiempo de retención del uso original de la madera⁴⁵³, y se prolongaría durante un periodo igual a la diferencia entre los tiempos de retención del nuevo uso de la madera y del uso original. Pero dado el elevado tiempo de retención del “uso” original de esa madera, según cuál sea el nuevo uso, cabe incluso la posibilidad de que el escalón, en lugar de ser negativo, fuera positivo, es decir, incrementara el desplazamiento de carbono de la biosfera hacia la atmósfera. Y en cualquier caso, dado que ambos tiempos de retención son, en el mejor de los casos, de igual

orden de magnitud, el potencial escalón favorable es muy pequeño, y su efecto no llegaría hasta transcurridos unos 200 años. Estos argumentos hacen injustificable el uso de madera procedente de plantaciones no sostenibles de acuerdo con argumentos de reducción de CO₂ atmosférico.

- En el caso de que la madera provenga de explotaciones sostenibles, su incorporación en productos para los edificios produce un escalón de reducción del CO₂ atmosférico por desplazamiento desde la atmósfera a la biomasa. La magnitud máxima de este escalón de reducción es igual al producto del tiempo de retención de la nueva aplicación de la biomasa (del orden de 300 años) por el volumen de la actividad en términos de tasa de fijación de CO₂. Si la actividad se mantiene durante un tiempo igual o superior al de retención de ese nuevo uso de la biomasa, el escalón se desarrolla completamente, y a partir de ese momento el escalón se mantiene hasta el momento en que se interrumpa la actividad, instante a partir del cual el escalón empezaría a revertirse en un proceso que se prolongaría durante un periodo igual al tiempo de retención de ese nuevo uso de la biomasa. Por tanto, si bien esta actividad no genera un escalón definitivo por la imposibilidad de garantizar su mantenimiento para siempre, sí que tiene el potencial de proporcionar una contribución positiva a la estabilización del sistema climático, con escalones negativos en la cantidad de CO₂ en la atmósfera, que se pueden prolongar más allá de los 600 años, a lo cual hay que añadir que estos productos elaborados con biomasa sustituyen en el edificio a productos elaborados con otros materiales (aluminio, hierro, plásticos, etc.) con un importante impacto en términos energéticos y de carbono.

sea mejor que la biomasa, pues a diferencia del carácter reversible del escalón en concentración atmosférica de CO₂, asociado a la combustión de esta biomasa, la combustión de productos fósiles genera un escalón irreversible al incrementar la cantidad de carbono en el ciclo del carbono. El objeto de la comparativa es ubicar la magnitud del impacto sobre las emisiones y el desplazamiento de CO₂ a la atmósfera.

447 Que por otro lado es la situación a la que conduce el emplear indicadores del desempeño de los edificios basados en emisiones de CO₂ junto a la consideración de neutralidad de emisiones de la biomasa.

448 Evaluación realizada de acuerdo con el escenario BAU desarrollado en este informe.

449 Nótese que este requerimiento de “no sustitutivo”, dentro del cual se incluye la fijación de biomasa en ecosistemas naturales, puede limitar bastante el potencial de los cultivos energéticos.

450 Entre las que se incluiría también la biomasa que no proceda de cultivos energéticos sostenibles, para la cual el tiempo de retención del uso anterior sería la suma del resto de vida útil que le quedaba a la especie vegetal cuando fue recolectada, el incremento de fijación de CO₂ que durante este periodo hubiera podido realizar, y el tiempo de degradación natural: es decir, fácilmente del orden de 150-200 años.

451 La viabilidad técnica y económica de recurrir a la captura y almacenamiento de carbono para poder seguir quemando combustibles fósiles no está demostrada, y en caso de estarlo solo podría añadir reversibilidad al proceso si se pudiese garantizar la permanencia del carbono capturado por un tiempo igual o superior al de su fosilización (Greenpeace, 2008).

452 Producción de muebles por ejemplo, y siempre que la actividad dure por lo menos el tiempo necesario para que se desarrolle el escalón.

453 Que puede ser bastante elevado, pues incluiría el resto de vida útil de los árboles talados, más el tiempo de degradación natural de la madera, y por tanto puede llegar a ser del orden de 200 años o superior. Es más, durante el resto de vida útil del árbol talado, éste hubiera seguido fijando CO₂ de la atmósfera, aspecto que es equivalente a considerar que todavía se prolongara más el tiempo de retención del uso original de esa biomasa.

3.7.1.6 Los grandes cambios pendientes

En el siguiente punto ilustraremos la importancia del sector edificación en el sistema energético, así como la relevancia de la ingeniería bioclimática para acotar la demanda energética de este sector, y las opciones, potencial y limitaciones de la cobertura de la demanda energética del sector con energías renovables.

Sin embargo, para desarrollar los potenciales en realidades es preciso introducir los mecanismos apropiados que modifiquen las tendencias y catalicen el cambio deseado.

Algunos de estos mecanismos podríamos clasificarlos como mecanismos de respuesta lenta por los dilatados periodos de tiempo⁴⁵⁴ requeridos para que consigan cristalizar un cambio significativo en la dirección deseada. Dentro de esta categoría entrarían la regulación energética (CTE), los mecanismos de certificación oficial, y los mecanismos de certificación voluntaria (LEED, BREEAM, etc.)⁴⁵⁵. Más allá de las limitaciones asociadas a la forma actual de la regulación y certificación oficial en España, todos estos mecanismos comparten la característica común de tener una “respuesta lenta”, y por tanto una capacidad limitada de catalizar la evolución necesaria del sector en los periodos de tiempo disponibles.

Por tanto, es preciso poner en juego otros mecanismos de respuesta rápida para producir la evolución necesaria en el periodo de tiempo disponible. Sorprendentemente, estos mecanismos de respuesta rápida están empezando a asomar justo en este momento en el que se han convertido en imprescindibles dada nuestra incapacidad de activar a tiempo los mecanismos de respuesta lenta. El desafío es ahora conseguir facilitarles el camino

para que se incorporen en nuestros sistemas y permitan materializar el cambio en escalón que necesitamos. La gran mayoría de estos mecanismos de respuesta rápida que pueden incidir sobre el sector edificación, y que permiten configurar el contexto E3.0, están relacionados con el amanecer de la inteligencia en el conjunto de nuestros sistemas y sus interacciones. Inteligencia que en primera instancia asociamos a los sistemas técnicos (redes inteligentes, sistemas de transporte inteligentes, edificios inteligentes, etc.), pero que realmente debe extenderse más allá, y abarcar los sistemas económico, político y social, para realmente poder constituirse en un mecanismo de respuesta rápida con capacidad de potenciar el cambio en el dirección deseada. En (García-Casals, X., 2009) se presentan algunos ejemplos de cómo se podría articular este despliegue de inteligencia inter-sistémico.

3.7.1.7 Escenarios y potencial de ahorro e integración de renovables de estudios anteriores

En este punto recogemos los resultados de algunos escenarios previos relativos a la capacidad de ahorro del sector edificación y a la integración de renovables en el mismo, con el fin de contextualizar los resultados más detallados que expondremos más adelante, y para ilustrar algunos aspectos concretos relativos a la incorporación de consideraciones de sostenibilidad en el sector de la edificación. En (García-Casals, X., 2009) se pueden encontrar los resultados de otro escenario de evolución de la demanda energética e integración de renovables en el sector de la edificación, bajo la perspectiva del potencial de incentivar nuevos modelos de negocio basados en la eficiencia energética.

⁴⁵⁴ Esto es especialmente cierto en el sector edificación, dada su elevada inercia y su carácter difuso.

⁴⁵⁵ LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) y BREEAM (BRE Environmental Assessment Method) son dos metodologías de certificación de edificios con un alcance mucho más integral que la certificación energética de edificios oficial en España, y aunque están demostrando un potencial de movilización del mercado de la edificación, en la dirección de la sostenibilidad, superior al de la certificación oficial, siguen constituyendo mecanismos de respuesta lenta por el elevado periodo de tiempo que debería transcurrir hasta que ejercieran un impacto significativo sobre el sector de la edificación en su conjunto.

Los escenarios energéticos que vamos a reproducir a continuación para el sector edificación son bastante conservadores, en el sentido de que el potencial de ahorro es significativamente superior al recogido por estos escenarios⁴⁵⁶, tal y como muestra, por ejemplo, la planificación regulatoria para el sector edificación en el Reino Unido (apuntando a la neutralidad de los edificios para los años 2016-2019). Sin embargo, estos escenarios nos permiten tener una primera evaluación cuantificada de cómo puede desarrollarse el sector de la edificación si lo mantenemos en una trayectoria BAU, o si introducimos en el mismo medidas de eficiencia orientadas a objetivos.

Escenarios de demanda y potencial de la ingeniería bioclimática

La herencia que nos han dejado los elevados ritmos de crecimiento del sector edificación en nuestro país hasta el año 2009 (edificación anual por encima de 100 km²/año), junto al hecho de que en la actualidad su demanda energética se encuentra lejos de estar totalmente internalizada, hacen que este sector pueda pasar a ser, con diferencia, el dominante, desde el punto de vista de la demanda energética, y por tanto a condicionar en gran medida nuestras posibilidades de reconducir nuestro modelo de desarrollo hacia la sostenibilidad. Esto es especialmente cierto en el caso de que el sector del transporte evolucione hacia el contexto E3.0, mientras que el de edificación no sea capaz de materializar una transición de este estilo.

Ante esta situación, y habida cuenta de la ausencia de escenarios oficiales⁴⁵⁷ sobre la evolución del sector, resulta interesante desarrollar escenarios de demanda energética del sector de la edificación y utilizarlos para valo-

rar el papel que pueden jugar las herramientas disponibles a nuestro alcance (energías renovables, ingeniería bioclimática) para alcanzar los objetivos perseguidos. La comparación de estos resultados con la planificación actual nos permitirá poder valorar su idoneidad y vislumbrar los cambios requeridos.

Previo a plantearse el uso de energías renovables activas en los edificios, se debe apurar el potencial de ahorro y eficiencia que nos proporciona la ingeniería bioclimática⁴⁵⁸. De hecho, podríamos entender la aportación de la ingeniería bioclimática como la de las formas pasivas de energías renovables⁴⁵⁹ a integrar en el edificio. El potencial de una buena ingeniería bioclimática es tremendo, y en determinados casos puede llegar a edificios pasivos con demanda nula de energía, de tal forma que al integrar en ellos elementos activos de energías renovables, el edificio se nos convierta en un generador neto de energía, e invertir radicalmente la situación actual.

Con el fin de enmarcar correctamente el peso del sector edificación en España, en (García-Casals X., 2007-2) se presentaron los resultados de escenarios (nivel de detalle provincial) de demanda energética en el sector edificación de cara al año 2050, con el fin de poder valorar tanto el peso absoluto que cabe esperar que adquiera este sector, como el potencial de ahorro que podría alcanzarse mediante la ingeniería bioclimática y la aplicación de tecnologías de energías renovables.

El escenario está basado en la proyección de la superficie edificada desarrollada en (GP, 2005), asumiendo que la tasa de crecimiento neto anual de la superficie edificada alcanza un valor máximo en torno al año 2010 para posteriormente tender hacia cero en el año 2050, en el cual se alcanzaría un equilibrio

⁴⁵⁶ De hecho, estos escenarios anteriores corresponden a un análisis mucho menos detallado del que hemos acometido en este informe, por lo que no era posible afinar tanto en el potencial de ahorro manteniendo una correlación directa con las implicaciones tecnológicas asociadas.

⁴⁵⁷ Así como la ausencia de una regulación energética de los edificios orientada a objetivos que por tanto nos permita cuantificar de forma directa dónde nos conduce la situación actual.

⁴⁵⁸ La ingeniería bioclimática analiza y evalúa la interacción energética del edificio con su entorno, sus sistemas y sus equipamientos, buscando soluciones que permitan cubrir los requerimientos de confort en los espacios habitables del edificio minimizando la demanda energética.

⁴⁵⁹ En sentido amplio, abarcando tanto los aportes energéticos pasivos procedentes del medio exterior, como todas aquellas "aportaciones negativas" asociadas a la implementación de medidas de eficiencia energética.

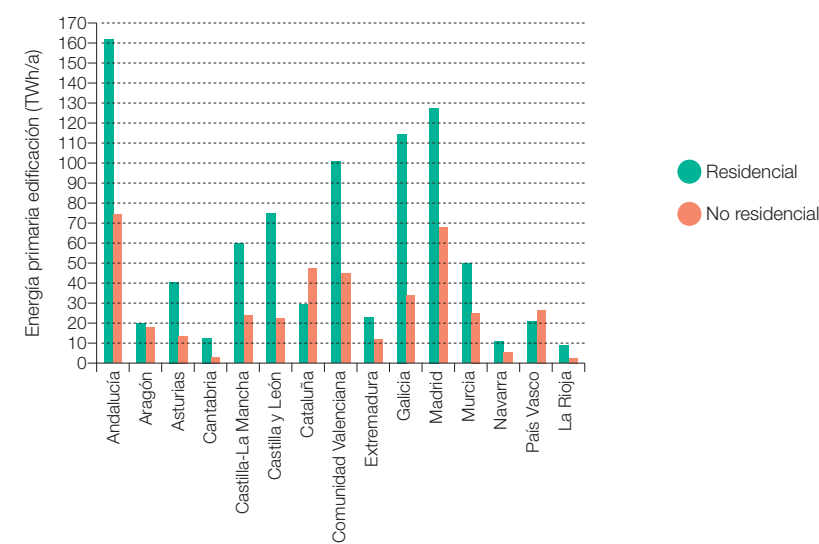
entre la construcción de edificaciones nuevas y la demolición de edificios antiguos.

Respecto a la demanda energética de este parque de edificios se desarrollan dos escenarios, uno BAU⁴⁶⁰ y otro de eficiencia, ambos asumiendo que se cubre completamente la demanda de confort de los edificios. El escenario BAU asume que el total⁴⁶¹ del parque de edificios en 2050 cumple⁴⁶² los límites actualmente impuestos por el CTE para las demandas energéticas reguladas⁴⁶³. Para el resto de las demandas energéticas se asumen valores tipo. El escenario eficiente asume que para 2050 se alcanza en el promedio del parque de edificios el estándar de Passiv Haus⁴⁶⁴, y que también se consigue acotar la demanda energética de los equipamientos, y de forma muy

conservadora⁴⁶⁵ considera para pasar a energía primaria que el rendimiento medio de generación y transporte del sistema eléctrico se mantiene en 2050 igual al del escenario BAU (45%). Las figuras 221 y 222 recogen la distribución por CCAA de la demanda energética del parque de edificios para los casos BAU y eficiente.

En la figura 223 mostramos los resultados finales de los dos escenarios a 2050 en términos de energía primaria, comparados⁴⁶⁶ con la demanda energética del sector edificación en 2006 según la AIE. El escenario BAU, con sus 1275 TWh/a de consumo de energía primaria⁴⁶⁷ en 2050 se sitúa significativamente por encima de los 486 TWh/a según la AIE para 2006. Parte de este incremento se debe

Figura 221. Caso BAU: Demanda de energía primaria de los edificios residenciales y no residenciales para el año 2050, asumiendo que la envolvente de los edificios cumple la normativa actual y la anterior (CTE y NBE CT 79), y que prácticamente todos los sistemas de climatización experimentan una mejora significativa de rendimientos respecto a la situación actual (rendimiento estacional medio de calderas del 95% y COP estacional medio de bombas de calor en modo frío de 2.8), según (García-Casals, X., 2007-2).



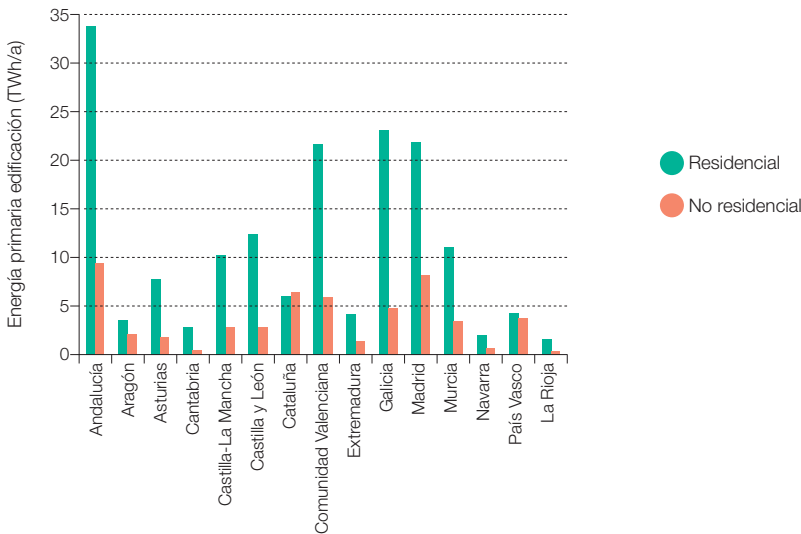
⁴⁶⁰ BAU: "business as usual". Escenario que supone seguir con las tendencias actuales.

⁴⁶¹ Esto es, tanto edificios nuevos como los existentes que han sido rehabilitados hasta este nivel de exigencia. Por lo que respecta a la rehabilitación, esta hipótesis para el escenario BAU es bastante optimista habida cuenta de la situación actual de la rehabilitación energética de edificios en nuestro país.

⁴⁶² Por lo que respecta a los sistemas, y para todo el parque de edificios, se asume que el rendimiento medio estacional de las calderas es del 95% (gran mejora respecto a situación actual), que el COP estacional de los equipos de frío es de 2,8 (también gran mejora respecto a situación actual, con el agravante de que el RITE no impone valores mínimos para este parámetro), y que el rendimiento medio de generación y transporte del sistema eléctrico asciende hasta un 45% en 2050.

⁴⁶³ La distinción entre demandas reguladas y no reguladas es bastante imprecisa en nuestro país. En rigor, estableceríamos como "reguladas" aquellos componentes de la demanda sobre los cuales existen límites regulatorios que acotan de forma directa su valor. Pero en estas condiciones, ninguno de los componentes de demanda se podrían considerar regulados, dado el carácter de limitación relativa que impone el CTE incluso sobre las demandas de la envolvente. En sentido más laxo entenderemos como demandas reguladas las de calefacción y refrigeración (aunque las limitaciones sobre la refrigeración son aún mucho más laxas e incluso inexistentes, tanto a nivel de envolvente como a nivel de equipos). El resto de demandas energéticas las denominaremos no reguladas, y estarían constituidas por el ACS, la iluminación, los equipamientos, la ventilación y el bombeo. El término "no regulada" debe entenderse como que la regulación no impone límites directos sobre el valor absoluto de la demanda. Sobre algunas de estas demandas no reguladas, el CTE no impone limitación alguna (equipamiento, bombeo, iluminación residencial, etc.), sobre otras impone tan solo limitaciones parciales (resto iluminación), sobre otras impone limitaciones poco exigentes (ventilación), y sobre otras, como el ACS, se imponen límites sobre la cobertura renovable pero no quedan establecidos los límites

Figura 222. Caso eficiente: Demanda de energía primaria de los edificios residenciales y no residenciales para el año 2050, asumiendo que todo el parque de edificios responde al límite de la clase-A del etiquetado energético propuesto en (PREDAC, 2003), que las demandas eléctricas para equipamiento no cubiertas localmente con generación renovable ascienden a 5 kWh/m2-a para los edificios residenciales y a 10 kWh/m2-a para los edificios no residenciales, y que el rendimiento medio del sistema de generación y transporte eléctrico peninsular se sitúa en el 45%., según (García-Casals X., 2007-2).



sobre la demanda absoluta para todas las situaciones posibles, y los límites de cobertura renovable pueden ser eludidos (normativa municipal, casos particulares edificios, etc.).

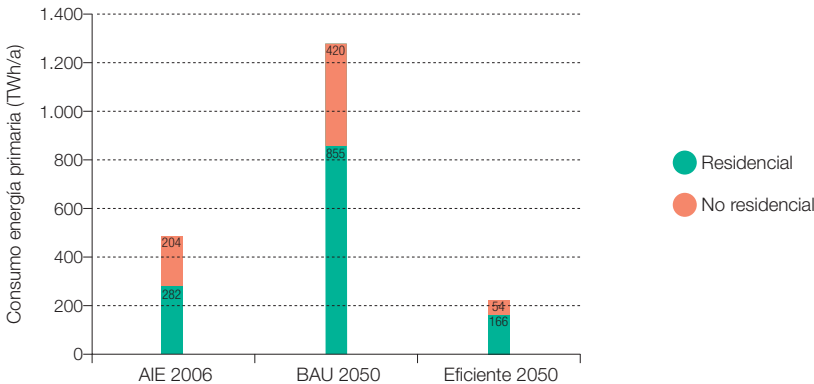
464 Estándar ya adoptado por algunos países como Suecia y varios lugares de Alemania, y que incluso se ha planteado imponer a nivel de normativa Europea. Todavía es posible, y más en el escenario temporal 2050, el llevar el nivel de ahorro más allá de estos valores, tal y como muestran los requerimientos de neutralidad de carbono en 2016 del nuevo contexto regulatorio del Reino Unido, y los resultados detallados que desarrollaremos en este informe.

465 Para 2050 lo coherente con el nivel de reducción de emisiones de GEI que se están planteando es que prácticamente el 100% del sistema eléctrico esté cubierto con renovables, motivo por el cual el rendimiento medio del sistema eléctrico sería muy superior a estas cantidades.

466 La comparación no puede ser en términos absolutos porque los valores de (AIE, 2006) son para el total nacional, y los escenarios a 2050 se desarrollaron para la España peninsular. Pero sí que nos sirve para ubicar en términos cualitativos los dos escenarios presentados.

467 Para encuadrar correctamente estos resultados conviene compararlos con la demanda de energía total peninsular, que en el año 2003 alcanzó 1482 TWh/a en términos de energía primaria, y que proyectada tendencialmente al año 2050 (García-Casals,X., 2005) alcanza 2252 TWh/a en términos de energía primaria.

Figura 223. Comparativa consumo energía primaria del sector edificación actual (AIE, 2006) y de los escenarios a 2050 desarrollados en (García-Casals X., marzo/abril 2007).



a la internalización del conjunto de la demanda de confort, y otra al crecimiento del parque de edificios. Por el contrario, el escenario eficiente muestra un consumo de energía primaria de 220 TWh/a, del orden de la mitad del actual.

El ahorro en el sector edificación asociado a la aplicación de la ingeniería bioclimática, estos, del uso de las energías renovables pasivas⁴⁶⁸, quedaría por tanto valorado para el año 2050 en 1055 TWh/a, quedando 220 TWh/a de demanda de energía primaria que construirían el potencial campo de aplicación de las energías renovables activas en el sector edificación. De estos resultados podemos extraer dos conclusiones:

- El mayor potencial de reducción de emisiones en el sector de la edificación se encuentra en la ingeniería bioclimática.
- Si las energías renovables activas se aplican al sector edificación habiendo apurado el potencial de la ingeniería bioclimática, es factible plantearse la inversión de la situación energética del sector edificación, pasando de un consumidor neto de energía primaria a un productor neto de energía.

Potencial de las energías renovables en el sector edificación

Para cubrir la demanda energética del sector edificación con energías renovables disponemos de dos aproximaciones distintas: por un lado tenemos la aproximación tradicional basada en la implementación de sistemas energéticos en los propios edificios o su entorno inmediato para el uso local de la energía producida⁴⁶⁹ (sistemas solares térmicos y sistemas de biomasa), que denominaremos la *opción autónoma*⁴⁷⁰. Por otro lado existe la

opción que denominaremos *opción interconectada*⁴⁷¹, basada en el hecho de que para cumplir con las restricciones de sostenibilidad el sector de generación eléctrica evolucionará⁴⁷² hacia sistemas de generación basados en tecnologías renovables. La opción interconectada plantea cubrir la demanda del sector edificación mediante electricidad, apoyándose en una red eléctrica inteligente e introduciendo una participación activa de la gestión de la demanda. Los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica caerían dentro de la opción centralizada, pues su ubicación física es distribuida en los propios edificios, pero el elemento fundamental que les permite proporcionar una contribución significativa al sistema energético es la existencia de una red eléctrica interconectada e inteligente.

Potencial y limitaciones de la generación renovable autónoma

En este apartado, según los resultados de los escenarios anteriormente expuestos para la demanda energética del sector edificación en el año 2050, revisamos los requerimientos de desarrollo de las energías renovables en una aproximación autónoma.

Por lo que respecta a la biomasa, en los últimos años hemos asistido a un despegue de las aplicaciones térmicas en el sector de la edificación, fundamentalmente mediante la introducción en el mercado de calderas de biomasa procedentes de centro Europa⁴⁷³ y países escandinavos, en los que ya existe una larga tradición del uso de estas calderas para cubrir la demanda térmica del sector edificación. Este despegue se ha visto potenciado por la entrada en vigor del CTE, dado que las calderas de biomasa permiten cubrir los requerimientos de la HE4 (aporte solar térmico)

⁴⁶⁸ Entendido en sentido amplio, como anteriormente indicamos, para incorporar los aportes pasivos del entorno y la eficiencia.

⁴⁶⁹ Dentro de esta categoría caerían también los sistemas fotovoltaicos autónomos, es decir, aquellos que no están conectados a la red eléctrica e incorporan un banco de baterías para acoplar localmente la generación con la demanda. Sin embargo, consideramos que esta opción tecnológica carece de sentido allí donde llegue la red eléctrica, tanto por costes como por eficiencia en el uso de los módulos fotovoltaicos, y más en el contexto de una red eléctrica que evoluciona hacia niveles crecientes de inteligencia. Adicionalmente consideramos que el grueso del parque de edificios se encontrarán interconectados a la red eléctrica. Las aplicaciones fotovoltaicas autónomas seguirán teniendo sentido en los edificios aislados de la red eléctrica, pero el impacto energético de estos edificios sobre el total del parque lo consideramos despreciable. Respecto a los sistemas geotérmicos y aerotérmicos, dado que emplean electricidad con un COP muy inferior al de un sistema solar térmico o de biomasa bien diseñados, los consideraremos como sistemas centralizados por requerir de un aporte significativo de electricidad de la red para facilitar el aprovechamiento del recurso térmico ambiental distribuido: es decir, en los sistemas solares térmicos se consume una pequeña cantidad de electricidad para la operación de algunos equipos secundarios (como las bombas de circulación), pero la captación del recurso renovable no está tan estrechamente vinculado a este consumo de electricidad (incluso puede prescindir de él en un sistema por termosifón) como en una bomba de calor, en la que el consumo del compresor es un componente fundamental para elevar (bombear) la energía térmica desde el foco frío al caliente.

⁴⁷⁰ En la referencia original denominábamos a ésta la *opción descentralizada*, aludiendo al hecho de su independencia del sistema de generación eléctrica centralizado. Sin embargo, en este estudio adoptamos el término "autónoma" para resaltar el elemento diferencial que permanece cuando el sistema eléctrico evoluciona alejándose de la generación centralizada.

sin las limitaciones de la energía solar térmica, y la reconversión de las empresas asociadas a las calderas de carbón en la edificación. Desde los inicios de la entrada de la biomasa térmica en el sector edificación de nuestro país, se han hecho intentos⁴⁷⁴ para explorar la extensión de las fuentes de biomasa más allá de los combustibles tradicionalmente empleados en los países de origen de la tecnología (pellets y astillas de madera), a otras fuentes de biomasa residual disponibles en nuestro país (cáscaras de almendra, huesos aceituna, cáscaras piñón, etc.). Es difícil de conocer actualmente la extensión que ha alcanzado el uso de la biomasa térmica en el sector edificación en nuestro país por la falta de registro de las instalaciones⁴⁷⁵, aunque seguramente su aportación actual será muy inferior a los objetivos del PER para 2010 (28,6 TWh/a).

Sin embargo, por lo que respecta al uso energético de la biomasa en el sector edificación, es preciso contextualizarlo en relación a la disponibilidad de este recurso en nuestro país, con el fin de evaluar hasta qué punto es apropiado y sostenible plantear la cobertura de la demanda energética del sector edificación con biomasa. En (GP, 2005) se presenta una evaluación del potencial total de todas las energías renovables en la España peninsular. Por lo que respecta a la biomasa, la evaluación del potencial disponible apura al máximo las posibilidades, e incorpora, además de las categorías convencionales de biomasa, un planteamiento de máximos en los cultivos energéticos y la valorización energética del monte bajo. La conclusión principal obtenida es que la biomasa es en nuestro país un recurso relativamente⁴⁷⁶ escaso que tiene muchas aplicaciones potenciales, y que, por tanto debe emplearse con mucha precaución.

Cuantificando estos aspectos, el techo del potencial de biomasa disponible es de 426 TWh/a

en términos de energía primaria⁴⁷⁷. Explotar al máximo este potencial requeriría emplear un 21,5% del territorio peninsular. En la figura 224 mostramos en valor relativo este recurso de biomasa frente a la demanda del sector edificación⁴⁷⁸. Como podemos observar, incluso tomando como base la demanda térmica del sector edificación en el año 2006 (datos AIE), el total del recurso disponible es del orden del total de la demanda, y en relación al escenario BAU para el año 2050 de la demanda del sector edificación, el recurso de biomasa disponible ascendería tan solo a un 44,5% de la demanda térmica del sector edificación. Si además tenemos en cuenta que la biomasa energética tendrá que jugar un papel fundamental⁴⁷⁹ en la reconversión del sistema eléctrico y del transporte hacia la sostenibilidad, resulta evidente que las aplicaciones térmicas directas⁴⁸⁰ de la biomasa no constituyen una solución apropiada⁴⁸¹ para el conjunto del sector edificación en nuestro país⁴⁸².

Por lo que respecta a la energía solar térmica aplicada en el sector edificación, el primer aspecto a tener presente es que requiere de una fuente energética auxiliar de apoyo para mantener un factor de capacidad suficientemente elevado que permita justificar su inversión. En el contexto de generación autónoma basada en renovables, la única opción para el sistema de apoyo es emplear biomasa.

En (García-Casals, X., 2007-1) se presenta una primera evaluación de los requerimientos de recurso a emplear para cubrir la demanda energética del sector edificación con energías renovables autónomas. Por lo que respecta a la demanda de energía térmica (calefacción, refrigeración⁴⁸³ y ACS) se plantea su cobertura mediante un sistema híbrido solar-biomasa, diseñado⁴⁸⁴ para proporciona una fracción solar del 35%⁴⁸⁵ con un factor de capacidad del sistema solar del 20%. En

471 En la referencia original denominábamos a ésta la *opción centralizada*. Sin embargo, el concepto "centralizado" hay que entenderlo de forma distinta al actual, pues la generación de la red eléctrica va a estar mucho más distribuida (incluso localizada en los propios edificios), y la característica diferencial de inteligencia también se encontrará distribuida por la red. Por este motivo, y para resaltar su característica diferencial de flujo bidireccional de información y energía con el resto del sistema energético, hemos optado por denominar a ésta la opción interconectada en el marco de este estudio.

472 Y muy probablemente en plazos sensiblemente inferiores a los del sector edificación.

473 Especialmente austriacas.

474 Estos intentos no han estado exentos de problemáticas asociadas al uso de quemadores no apropiados para estas fuentes de biomasa.

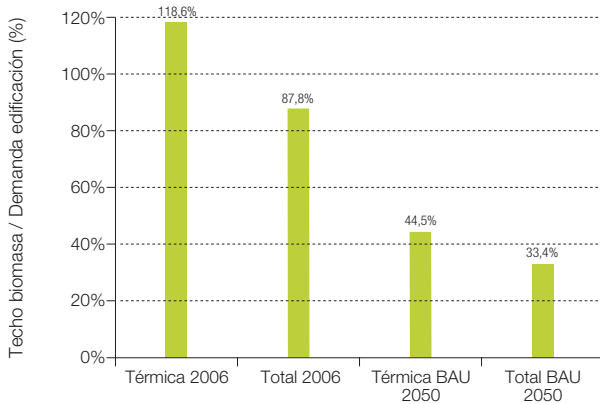
475 En diciembre de 2009, la asociación para la valorización energética de la biomasa (AVEBIOM) lanzó la iniciativa de crear un observatorio de calderas de biomasa. Los resultados publicados por el Observatorio Nacional de Calderas de Biomasa (ONCB) correspondientes a septiembre de 2010 (Ramos J. J., 2010), indican que a fecha de septiembre de 2010 el ONCB tenía registrada una potencia total de 450 MW, de los cuales del orden del 60% asumimos que corresponden al sector edificación (el resto está en aplicaciones industriales), lo que proporciona una potencia de 270 MW, para la que podríamos estimar una generación del orden de 1 TWh/a para el año 2010.

476 Resulta escaso en comparación con otros recursos renovables como el solar o el eólico, pero en valor absoluto representa un recurso energético significativo.

477 Este es el valor total incluyendo la biomasa residual y el biogás. Dentro de este recurso total, los cultivos energéticos, los cultivos forestales de rotación rápida y el aprovechamiento del monte bajo representan un potencial de 273 TWh/a.

478 Para disgregar la demanda térmica, hemos supuesto que la demanda de refrigeración se cubre con máquinas de absorción de simple efecto con un COP = 0,6. Sería posible cubrir la demanda de refrigeración mediante energía térmica de forma más eficiente empleando máquinas de doble efecto (COP = 1,3), pero la realidad de la gran mayoría de

Figura 224. Techo energético de la biomasa peninsular según (GP, 2005) como porcentaje de la demanda energética del sector edificación. Los valores para el año 2006 son los correspondientes al balance de la AIE para ese año.



estas condiciones, para cubrir la demanda energética del escenario BAU sería preciso instalar 210 Mm² de colectores solares y emplear 678 TWh/a de biomasa para complementar el aporte solar. Por lo que respecta a la superficie de colectores solares requerida, está abismalmente alejada del objetivo actual del PER para 2010⁴⁸⁶ (4,9 Mm²), y su instalación en las cubiertas del parque de edificios⁴⁸⁷ proyectado para el año 2050 podría entrar en conflicto con los requerimientos de superficie para cubrir la demanda eléctrica de los edificios incluso⁴⁸⁸ con fotovoltaica conectada a la red eléctrica. En cuanto al requerimiento de biomasa para complementar el aporte solar, la cantidad necesaria en este escenario BAU sigue siendo superior al techo del recurso disponible⁴⁸⁹, por lo que su aplicación resultaría inviable.

A la vista de estos resultados, resulta evidente que un paso previo imprescindible para cubrir la demanda energética del sector edificación con energías renovables es explotar al máximo las posibilidades de la eficiencia energética y la ingeniería bioclimática

para acotar en origen la demanda energética del sector. Para la demanda del sector edificación en el escenario 2050 eficiente anteriormente presentado, la cobertura de la demanda de energía térmica mediante sistemas híbridos de solar térmica-biomasa requeriría emplear 93 TWh/a de biomasa e instalar 28,6 Mm² de superficie de captación⁴⁹⁰. Estos valores⁴⁹¹, aun siendo muy elevados respecto a las planificaciones actuales, ya quedan dentro del rango de lo que se puede considerar viable para el despliegue de esta tecnología⁴⁹².

Sin embargo, por lo que respecta a la biomasa, incluso en el contexto eficiente, este planteamiento autónomo requeriría emplear un 21,8% del techo de recurso total disponible, llegando a un 34,1% si consideramos el uso del potencial de cultivos energéticos, cultivos forestales de rotación rápida y aprovechamiento del monte bajo. Teniendo en cuenta los requerimientos de uso de biomasa en otros sectores energéticos sin otras alternativas basadas en energías renovables, estos porcentajes siguen siendo excesivos y difíciles de justificar.

las instalaciones comerciales que actualmente encontramos con refrigeración basándose en aporte térmico es que están apoyadas en máquinas de simple efecto.

479 Debe tenerse en cuenta que para algunas de estas aplicaciones, la biomasa es la única fuente renovable disponible y, por tanto, resulta prioritario reservar este recurso escaso para esas aplicaciones. Como ejemplos podemos citar aquellos modos de transporte que no se prestan a su electrificación (avión, transporte mercancías por barco y transporte de mercancías a larga distancia por carretera), y la regulación del sistema de generación eléctrica mediante hibridación de centrales termosolares.

480 Las aplicaciones de cogeneración distribuida basándose en biomasa pueden tener su nicho en el sector edificación bajo el contexto de un sistema energético basado en energías renovables.

481 Nos referimos aquí a que la biomasa térmica directa no puede contemplarse como una solución apropiada para el conjunto del parque edificatorio en nuestro país a largo plazo, dada la escasez del recurso. Sin embargo, debido a la inmediatez de su disponibilidad, sí que puede constituir una opción adecuada para el proceso de transición, pudiendo permanecer en el futuro como solución adecuada para una parte relativamente pequeña del parque de edificios.

482 A este respecto también resulta apropiado apuntar que los objetivos de biomasa del PER para 2010, en términos relativos al techo del recurso peninsular disponible según (GP, 2005), son del 11,1% para las aplicaciones térmicas, del 15,3% para las aplicaciones eléctricas, y del 6,0% para el transporte, de tal forma que en total el PER plantea emplear un 32,3% del máximo recurso disponible de biomasa. Este porcentaje de techo de recurso disponible a desarrollar es tremendamente superior al planteado para cualquiera de los otros recursos renovables disponibles en nuestro país, especialmente por lo que respecta a las tecnologías solares, por lo que incluso aunque se llegarán a alcanzar los objetivos del PER, cabría esperar poco desarrollo adicional de este recurso.

483 En este caso, incluso asumimos que hay una importante penetración de máquinas de absorción de doble efecto, de tal forma que el COP medio de todos los

Estos comentarios no deben interpretarse como un juicio de valor desfavorable en relación a los esquemas actuales de apoyo a estas opciones autónomas de cobertura de la demanda energética con energías renovables, sino tan solo como una perspectiva de sus limitaciones de cara al escenario que se puede desplegar para el año 2050, y una llamada de atención sobre el hecho de que para esos horizontes será preciso incorporar otros elementos en el sistema energético para conseguir cubrir toda la demanda con energías renovables. Pero dentro del proceso de transición hacia ese futuro, mientras el sistema eléctrico no sea 100% renovable y no hayamos conseguido introducir suficientes medidas de eficiencia en el sector edificación como para que su electrificación no requiera un sobredimensionado de las infraestructuras de generación y transporte, los sistemas autónomos como la solar térmica pueden desempeñar un papel muy importante, al actuar como limitadores en origen de la demanda sobre el sistema eléctrico, propiciando una senda de transición gradual mediante sistemas híbridos en los que el complemento al aporte local de la solar térmica se cubra con una bomba de calor. En este sentido, los esquemas actuales de apoyo de la tecnología solar térmica autónoma, y su mejora ligando el apoyo a las prestaciones reales mediante una retribución de la energía aportada por el sistema, constituyen herramientas adecuadas para propiciar y acompañar la transición desde el contexto BAU al contexto eficiente.

Integración del sistema energético y despliegue del gran potencial del sector edificación

Las opciones autónomas y sectoriales para cubrir la demanda energética del sector edificación con energías renovables presentan

limitaciones al plantearse la cobertura total de la demanda y requieren, tanto por eficiencia como por costes, iniciar una transición hacia un enfoque integrado del sistema energético.

Por un lado está el tema de la accesibilidad a los recursos renovables dominantes en nuestro país. El sistema eléctrico está evolucionando rápidamente hacia la integración de renovables a gran escala, por lo que la integración del sector edificación con el sistema eléctrico libera una gran cantidad de recursos renovables para su aplicación directa a la cobertura de la demanda energética del sector edificación, y elimina las restricciones en disponibilidad de recurso que analizábamos en el apartado anterior. En efecto, los valores del potencial de generación eléctrica de origen renovable en la España peninsular (GP, 2005) son de 569 TWh/a para la fotovoltaica integrada en los edificios, y de 15798 TWh/a para el conjunto de renovables. En relación a los niveles de demanda del año 2006 (AIE 2006) y del BAU para el año 2050⁴⁸³, integrando el sector edificación con el sistema eléctrico mediante la electrificación de la demanda térmica empleando bombas de calor eficientes⁴⁸⁴, la figura 225 nos muestra la cantidad de recurso disponible que deberíamos emplear para cubrir el total de la demanda energética del sector edificación. Como podemos observar, incluso recurriendo tan solo al recurso de la fotovoltaica integrada en la edificación en principio podríamos plantear la cobertura de la demanda⁴⁸⁵, pero el mayor potencial reside en la posibilidad de acceder al conjunto de recursos renovables de nuestro país, que nos permiten cubrir la demanda energética del sector edificación empleando cantidades relativamente bajas⁴⁸⁶ del recurso total disponible y con costes muy inferiores a los que supondría un enfoque autónomo (García-Casals, X., 2006-2).

sistemas de frío solar (máquinas de simple y doble efecto) es de COP = 1.

484 Condiciones que se corresponden aproximadamente a las que optimizan un combisystem en la Comunidad de Madrid desde el punto de vista de minimizar el coste normalizado de la energía térmica de origen solar.

485 Nótese que esta fracción solar es considerablemente inferior a la exigida por la HE4 del CTE, pero a diferencia del CTE en que esa fracción solar se refiere tan solo a la cobertura de ACS, nosotros aquí la estamos planteando para la cobertura del total de demanda térmica (calefacción + refrigeración + ACS).

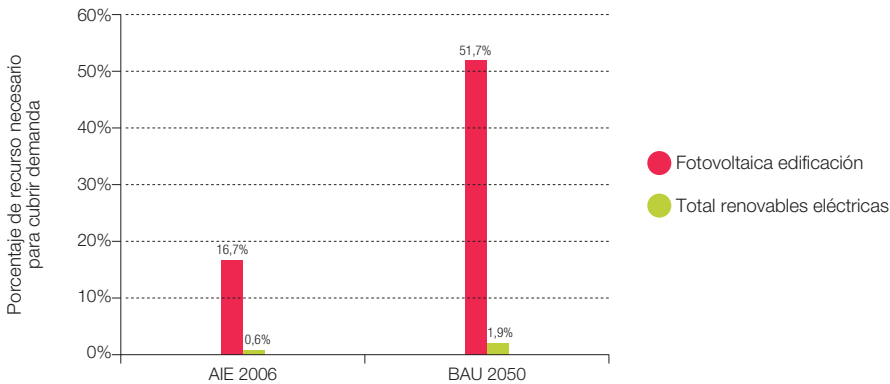
486 Objetivo del cual nos hemos quedado muy alejados. Sin embargo esta situación probablemente haya sido en parte debida a la falta de un mecanismo de incentivación más efectivo.

487 Tomando como dato de partida la estimación de superficie de cubierta del parque de edificios generada en (GP, 2005), y considerando tan solo los requerimientos de espaciado de los colectores con orientación óptima para evitar sombreadamientos (realmente en la cubierta de los edificios hay otras restricciones que reducen todavía más la superficie de colectores a instalar), el requerimiento de 210 Mm² de colectores solares correspondería a ocupar el 38,6% de la superficie de cubiertas en el año 2003 y el 25,9% de la superficie de cubiertas proyectada para el año 2050. Adicionalmente, los colectores térmicos pueden también instalarse en fachadas con la orientación adecuada, por lo que la instalación de esos 210 Mm² no resultaría inviable por disponibilidad de espacio, pero conduciría al requerimiento de uso de un porcentaje muy elevado de la superficie disponible y probablemente competiría con la instalación de fotovoltaica integrada en los edificios, requiriendo además un cambio radical en la implementación de mecanismos de incentivación de esta tecnología para alcanzar tasas de instalación muy superiores a las demostradas hasta la fecha.

488 El término "incluso" quiere reflejar aquí la mayor eficiencia tanto en ocupación de espacio como en producción de energía de la instalación fotovoltaica interconectada a la red eléctrica respecto a una instalación fotovoltaica.

489 El techo del recurso disponible es un 62,8% de la demanda de biomasa del sistema híbrido,

Figura 225. Cantidad de recurso de generación eléctrica de origen renovable que sería preciso emplear para cubrir los niveles de demanda en el año 2006 (AIE 2006) y tendencial (BAU 2050) del sector edificación vía electrificación de su demanda térmica con bombas de calor eficientes (COP = 6). Se muestran los resultados relativos al techo de generación de la fotovoltaica integrada en la edificación y del total de renovables, según (GP, 2005).



Por otro lado, esta integración del sector edificación en el sistema eléctrico también representa beneficios muy importantes para un sistema eléctrico basado en renovables, de tal forma que el sector edificación abandona su tradicional papel pasivo para convertirse en un importante actor activo que permita facilitar sistemas eléctricos 100% renovables. En efecto, tal y como se muestra en (GP, 2006) la operación de un sistema 100% renovable para cubrir la demanda eléctrica BAU de la España peninsular, si bien es técnicamente⁴⁹⁷ viable, implica la disipación de una gran cantidad de capacidad de generación eléctrica de origen renovable para regular el sistema eléctrico. Esta energía eléctrica “residual”, de coste adicional nulo, exige la integración del sistema energético para poder valorizar este recurso, tanto desde la perspectiva de la eficiencia técnica como económica.

Pero más allá de los planteamientos de acceder a un mayor potencial de generación renovable, y de evitar el sin sentido de tener que

disipar esa electricidad “residual”, consecuencia de la regulación de un sistema energético no integrado, la gran contribución activa del sector edificación en el contexto de un sistema energético basado en renovables es la que puede prestar mediante la gestión de la demanda de energía (GDE). En el escenario hacia el que estamos evolucionado, donde la integración a gran escala de renovables en la red eléctrica requiere el despliegue de inteligencia por el sistema, la gestión de la demanda desde un sector tan importante en cuanto a volumen de demanda como es el de la edificación, se convierte en un componente fundamental para poder regular y operar adecuadamente el sistema energético. En este contexto del sistema eléctrico, las “válvulas” que regulan la operación pasan de su ubicación centralizada tradicional⁴⁹⁸, a estar distribuidas por el conjunto de la red en los puntos de consumo. Y en esta situación, tan importante o más es la actuación desde la gestión de la demanda de energía para facilitar la integración de renovables en la red, como la

siendo de un 40,3% la contribución de la biomasa procedente de cultivos energéticos, cultivos forestales de rotación rápida y aprovechamiento del monte bajo.

490 Es preciso tener en cuenta que estos resultados son valores agregados para el conjunto de España. En los emplazamientos con mejor recurso solar la producción del campo solar es más elevada, y puede emplear diseños de mayor fracción solar que reducen el requerimiento de biomasa. Por tanto, dentro de la geografía española, hay emplazamientos donde esta opción autónoma resulta más favorable que en otros. Este es otro elemento distintivo entre las opciones autónoma e interconectada, pues en el caso de la cobertura de la demanda energética mediante energías renovables con un planteamiento interconectado, la diferenciación regional queda mucho más atenuada.

491 En términos de ocupación de la superficie de cubiertas de los edificios del escenario desarrollado en (GP, 2005), reteniendo tan solo los requerimientos de servidumbre para evitar sombreados entre los colectores, estos 28,6 Mm² representarían ocupar el 5,3% de la superficie de cubiertas en el año 2003 y el 3,5% de la superficie de cubiertas en el año 2050. Por tanto, vemos cómo la aplicación de medidas de eficiencia conduce el requerimiento de ocupación de superficie de cubiertas a unos valores mucho más realistas.

492 Aunque seguirían requiriendo una modificación de los mecanismos de incentiviación de esta tecnología para incrementar las tasas anuales de instalación significativamente por encima de las demostradas hasta la fecha.

493 Para el caso del escenario eficiente, en el que la demanda se reduce mediante la aplicación de la ingeniería bioclimática tal y como expusimos en puntos anteriores, los requerimientos de uso del recurso renovable disponible serían considerablemente inferiores.

494 Se han supuesto para esta evaluación valores del COP = 6, considerablemente superiores a los actualmente disponibles en nuestro país, pero inferiores a los que impone la regulación japonesa a partir de 2010.

495 Esta afirmación es tan solo por lo que respecta a la fracción del potencial que se debería emplear. Sin embargo, al igual que nos pasaba con la solar

propia generación a partir de fuentes de energías renovables.

Este planteamiento nos obliga a abandonar el enfoque actual en el que solo consideramos la instalación de equipos de energías renovables en los edificios como participación del sector edificación en la introducción de renovables. De ahora en adelante, y siempre que el despliegue de inteligencia por los sistemas político, administrativo y económico acompañen, la participación del sector edificación en la introducción de renovables se va a poder universalizar, de tal forma que cualquier consumidor en los edificios pueda contribuir a la integración de renovables en el sistema energético, independientemente de que exista la posibilidad de instalación de sistemas de generación in situ. Es más, este planteamiento nos proporciona herramientas para implementar los cambios en escalón (mecanismos de respuesta rápida) que necesitamos en el contexto actual de urgencia.

3.7.1.8 Iniciativas actuales de eficiencia energética en el sector edificación

El interés por los edificios de muy bajo consumo energético (VLEB⁴⁹⁹) probablemente empezó a coger fuerza con la crisis energética de los años 70 del pasado siglo, aunque su evolución en el último cuarto del siglo pasado no fue más allá de unas cuantas curiosidades sin impacto apreciable sobre el parque de edificios y con limitadas garantías de resultados.

Con la aparición del estándar Passiv Haus en 1988⁵⁰⁰ se añadió rigor al concepto de edificio de bajo consumo, así como una metodología y reconocimiento que ha permitido que los VLEB empiecen a dejar sentir su impacto en el sector edificación. En efecto, el estándar Passiv Haus⁵⁰¹ no solo cuenta ya

con un significativo parque de edificios⁵⁰², sino que también ha sido adoptado como estándar de referencia en Suecia y en varias ciudades Alemanas, y ha llegado al punto de que incluso desde la UE se han realizado propuestas para la incorporación de este estándar al conjunto de la UE para el año 2015⁵⁰³. Este estándar, si bien ha representado una mejora muy significativa respecto a las regulaciones energéticas existentes en los países de origen, tiene unas exigencias que desde la perspectiva de un contexto E3.0 podemos considerar limitadas, en especial por lo que se refiere a la elevada permisividad de consumo total de energía primaria.

A lo largo de los últimos años se ha desatado una actividad mucho más intensa en la implementación de estándares de VLEB que apuntan en un horizonte muy cercano a alcanzar los edificios de consumo cero (ZEB⁵⁰⁴) o incluso los edificios con generación neta de energía. En efecto, en países como el Reino Unido, Francia, Holanda y EE. UU., encontramos planificaciones⁵⁰⁵ encaminadas a que los nuevos edificios sean ZEB en horizontes de tiempo tan cercanos como 2015-2020.

El concepto de ZEB admite distintas interpretaciones⁵⁰⁶ según que se refiera a energía consumida o neta (descontando la generación local), a energía primaria o final, o que el indicador empleado sea de energía, emisiones o costes. Pero esencialmente se trata de edificios que producen un impacto nulo⁵⁰⁷ por lo que se respeta al consumo de energía.

El concepto de ZEB resulta atractivo desde un punto de vista mediático, y probablemente por esto se ha extendido tanto en los últimos tiempos. Pero desde una perspectiva global de un sistema energético integrado, el concepto ZEB no resulta prioritario, y por lo general no constituirá la solución

térmica, el despliegue de este potencial requeriría instalar una potencia fotovoltaica abismalmente alejada de la que actualmente tenemos instalada (del orden de 4 GW_p, unas 10 veces superior a la del PER 2010) y de la planificación energética para los próximos años (con un objetivo del orden de los 8 GW_p para el año 2020). En efecto, para cubrir la demanda del año 2006 este planteamiento requeriría instalar del orden de 83 GW_p, ascendiendo a unos 256 GW_p el requerimiento para la cobertura de la demanda del año 2050 en un contexto BAU (incluso empleando como es el caso tecnología de generación muy eficiente, representada por esas bombas de calor de elevado COP). Esta potencia fotovoltaica, para la tecnología considerada en (GP, 2005) implicaría instalar unos 1.520 km² de módulos fotovoltaicos que constituyen un 85% del área de cubierta para el año 2050 en el escenario desarrollado en (GP, 2005). Sin embargo, la comparación con el área de cubierta en estos términos no es adecuada, pues el potencial de fotovoltaica integrada en los edificios, evaluado en (GP, 2005), consideraba instalación en cubierta pero también en fachadas con acimut de 0°, 45° y 90°, motivo por el cual la superficie disponible era mucho más elevada que la de cubierta, y el factor de capacidad promedio más bajo que el correspondiente a la instalación en cubierta. Si evaluamos la superficie necesaria en el caso de que la instalación se realizara en cubierta a fin de poder comparar directamente con la evaluación anteriormente realizada para la solar térmica, para el escenario de demanda BAU necesitaríamos unos 201 GW_p de fotovoltaica, que al considerar las servidumbres por sombreados entre módulos nos conducirían a un requerimiento de superficie de cubierta de 2.280 km², es decir, un 127% de la superficie de cubierta para el año 2050. Este número todavía no es directamente comparable con el de la solar térmica antes indicado, pues la solar térmica cubría tan solo el 35% de la demanda (el resto era de la biomasa) y esta generación fotovoltaica cubriría el 100%. Por tanto, en términos de requerimiento de cubierta para igualdad de cobertura de la demanda la opción con fotovoltaica requeriría ocupar el 44,4% de la superficie de cubierta en el año 2050, es decir, un 171% de lo que

más apropiada para el conjunto del sistema energético. En efecto, en la inmensa mayoría de los casos considerados hasta ahora para alcanzar la condición de ZEB se hace imprescindible integrar generación de acuerdo con energías renovables en el propio edificio⁵⁰⁸ (típicamente fotovoltaica), y contar con una interconexión con la red eléctrica para poder equilibrar en base anual esa generación local con la demanda de energía. En estas condiciones, quien realmente hace que se alcance el ZEB es la interconexión con el sistema eléctrico, y el potencial de interacción positiva entre el edificio y el sistema eléctrico es muy superior si se hace bidireccional⁵⁰⁹ que restringiéndose al enfoque unidireccional del ZEB. En efecto, esa bidireccionalidad, como componente fundamental de la inteligencia, proporciona un potencial superior de alcanzar las condiciones de neutralidad colocando la frontera en el conjunto del sistema energético en lugar de limitarse a colocar las fronteras en torno al propio edificio, y permite que el edificio pase de ser un ente ciego para el sistema al que tan solo le impone sus requerimientos⁵¹⁰, a ser un componente activo en la operación y optimización del conjunto.

En el ámbito del concepto ZEB, una iniciativa que merece mención especial por la cantidad de documentación que está generando a lo largo de estos últimos años, es la iniciativa NZEB⁵¹¹ del Departamento de Energía en EE. UU. (DOE), que apunta a disponer de edificios de consumo neto nulo económicamente viables para el año 2025. Hasta la fecha han publicado estudios de distintas tipologías de edificios comerciales alcanzando reducciones del 30% y el 50% del consumo total de energía final. En la bibliografía recogemos diversas referencias asociadas a este programa y otros estudios de ZEB o VLEB.

En el marco de la UE la Directiva 2010/31/EU establece para los estados miembros el objetivo de que a partir del 31/12/2020 todos los edificios nuevos⁵¹² sean de consumo casi nulo (nZEB⁵¹³). Lamentablemente, la Directiva deja tan abierta la definición⁵¹⁴ de qué se entiende por un nZEB que no es posible cuantificar sus implicaciones y efectos, pudiendo anticipar una gran divergencia entre las aproximaciones adoptadas por los distintos estados miembros⁵¹⁵.

3.7.1.9 Zonificación climática

En la actualidad, el desempeño energético de un edificio se ve considerablemente afectado por el emplazamiento climático en el que se encuentra localizado. Esto va siendo menos cierto a medida que se van incorporando elementos de eficiencia energética apropiados y adaptados en su nivel de exigencia, para el emplazamiento climático del edificio, de tal forma que tal y como veremos, en el contexto E3.0 la dependencia climática del desempeño energético del edificio dentro de la España peninsular es muy inferior a la actual.

Puesto que en el desarrollo de los escenarios vamos a referenciar las zonas climáticas en las que puede encontrarse el edificio, y dado que el nivel de resolución espacial que vamos a emplear es el provincial, en las figuras 226 y 227 recogemos dos zonificaciones climáticas a las que recurriremos de las provincias de la España peninsular.

Una de ellas es la zonificación climática que introduce el CTE⁵¹⁶, y en la que se basan todas las exigencias de la regulación actual en lo que se refiere a la envolvente y los sistemas energéticos de un edificio. Esta zonificación climática se basa en las denominadas severidades climáticas de invierno y verano, que se

requería la solar térmica. La conclusión que podemos extraer de estos resultados es que resulta imprescindible desplegar el potencial de las medidas de eficiencia para proceder a cubrir el remanente de demanda haciendo uso de una cantidad viable y razonable de generación de origen renovable.

496 Sin embargo, como veremos a lo largo de este informe, la cobertura de una demanda BAU sin desplegar el potencial de las medidas de eficiencia, si bien es posible en relación a la cantidad de recurso de generación renovable, pero requeriría el despliegue de una infraestructura de generación y transporte de energía muy superior a la que actualmente tenemos, con sus impactos tanto ambientales como económicos asociados. Y además, tal y como mostrábamos en la introducción de este informe el modelo energético resultante sería insostenible por acabar agotando con el paso del tiempo el total de nuestro recurso de generación renovable.

497 Y económicamente más favorable que un escenario que sería anclado en combustibles fósiles.

498 La regulación centralizada tradicional, donde la demanda es ciega a los requerimientos del sistema y toda la regulación se realiza desde unos pocos centros de generación, pasa a ser simplemente inviable en un contexto de gran integración de generación renovable distribuida por la red.

499 VLEB: Very Low Energy Building.

500 Originado por un profesor sueco y otro alemán, con la primera casa construida según este estándar en 1990.

501 Las exigencias de este estándar se materializan en una demanda máxima de calefacción de 15 kWh/m²-a y un consumo máximo de energía primaria de 120 kWh/m²-a.

502 Principalmente en Alemania y Austria, pero también se ha extendido a Escandinavia y los EE. UU., buscando adaptaciones a climas con mayor severidad de verano como los que tenemos en España.

503 Si bien la versión final de la nueva directiva de eficiencia energética en los edificios (Directiva 2010/31/UE) se ha desvinculado del estándar Passiv Haus y ha introducido el requerimiento de que en el año 2020, todos los edificios nuevos sean de consumo casi nulo (aunque lamentablemente sin concretar que quiere decir

evalúan basándose en los grados-día⁵¹⁷ y la irradiación solar incidente en los regímenes de calefacción y refrigeración. En esta zonificación climática, España queda dividida en 12 zonas climáticas.

La otra zonificación climática que vamos a emplear es la definida por ASHRAE⁵¹⁸, y en la

que se basan los estándares de energía en EE. UU. Esta zonificación está basada en los grados-día⁵¹⁹ de invierno y verano, y en la precipitación anual. Según esta zonificación climática, la España peninsular queda dividida en 6 zonas climáticas.

Figura 226. Zonas climáticas del CTE para las capitales de provincia de la España peninsular.

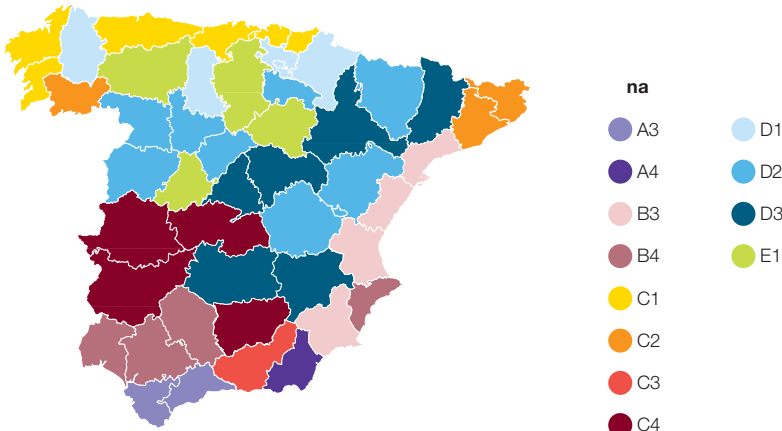
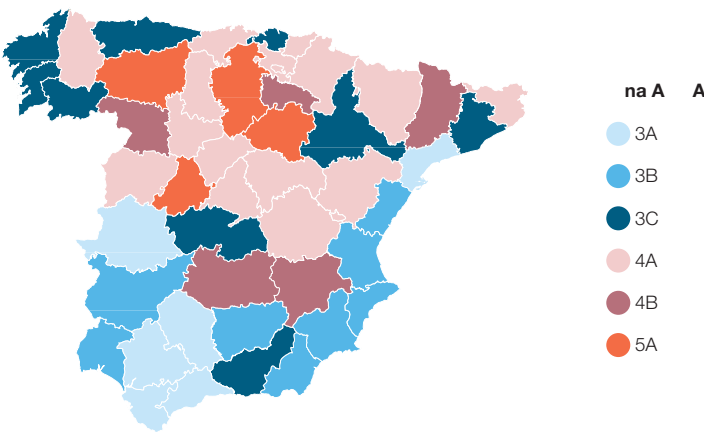


Figura 227. Zonas climáticas de ASHRAE para las capitales de provincia de la España peninsular.



ese "casi" y dejándolo abierto a la interpretación de los estados miembros).

504 ZEB: Zero Energy Buildings.

505 (Ole Michael Jensen, Kim B. Wittchen, Kirsten Engelund Thomsen, 2009).

506 (Paul Torcellini, Shanti Pless, and Michael Deru, Drury Crawley, 2006).

507 En base anual o en cada instante de tiempo según sea la definición adoptada.

508 Y no precisamente en cantidades pequeñas. Por ejemplo, el programa Building America que apunta a conseguir edificios residenciales ZEB para 2020, lo hace con una contribución fotovoltaica entre el 30% y el 40% del consumo final de energía del edificio. En el caso de edificios terciarios con gran cantidad de carga de proceso, el alcanzar el ZEB puede requerir integrar cantidades considerablemente superiores de fotovoltaica.

509 Es decir, que no solo el sistema eléctrico absorbe la generación local del edificio para permitirle alcanzar su objetivo ZEB, sino que el edificio responde a las necesidades del sistema eléctrico para integrar la generación renovable disponible en otras partes del sistema.

510 Requerimientos que por lo general implican un sobredimensionado del sistema energético más allá del edificio para gestionar esa demanda y generación ciegas a las necesidades del sistema global.

511 NZEB: Net Zero Energy Buildings.

512 Para los edificios nuevos ocupados por la administración pública y propiedad de la administración pública, esta fecha se adelanta al 31/12/2018.

513 nZEB: nearly Zero-Energy Buildings.

514 En efecto, tanto el nivel de eficiencia del edificio (y por tanto su demanda), como las fuentes energéticas empleadas para cubrirla (que pueden ser renovables locales, renovables no locales o incluso otra fuente energética), e incluso los componentes de la demanda energética del edificio a considerar (en concreto los equipamientos es fácil que se escapen de los alcances adoptados por los estados miembros, y tal y como veremos más adelante esta componente de la demanda es precisamente la que pasa a ser dominante en un contexto eficiente), quedan demasiado abiertos.

515 Esta situación es especialmente lamentable porque esta Directiva ha surgido como una

3.7.1.10 Tipologías de edificios

El desarrollo de los escenarios de consumo del sector edificación se basa en la simulación de unos cuantos edificios representativos del parque de edificios en los distintos emplazamientos climáticos, del tal forma que, junto a los escenarios de la superficie construida de las distintas tipologías de edificios, nos permita evaluar la demanda agregada del sector.

Con la finalidad de poder cuantificar los efectos que cabe esperar de la introducción de distintas medidas de eficiencia, y por tanto de orientar a objetivos las estrategias de apoyo a dichas medidas, así como la regulación energética, resulta imprescindible disponer de una serie de edificios de referencia que representen correctamente al parque de edificios existente. En España no se han desarrollado estos edificios de referencia. Pero en EE. UU. sí que se han desarrollado por parte de la administración, y se mantienen regularmente, una serie de modelos de edificios de referencia⁵²⁰ pensados para representar el parque de edificios existente en ese país. Estos edificios de referencia, que en adelante referiremos como los DOE Benchmarks, están constituidos por 16 tipos⁵²¹ de edificios comerciales, entre los que se incluye un bloque de viviendas, extraídos de un programa de muestreo del parque de edificios y sus principales indicadores energéticos regularmente actualizado por la administración de EE. UU., y están implementados en formato de la herramienta de simulación que emplearemos en este informe (Energy Plus). El objetivo del DOE al facilitar estos modelos de edificios de referencia es incentivar la investigación sobre medidas de eficiencia con una base común que permita la comparación entre distintos estudios.

Dado que los DOE Benchmarks son los edificios de referencia más bien definidos que

hemos encontrado, y dada la ausencia tanto de unos edificios de referencia representativos del parque de edificios en España, como de una caracterización completa del parque de edificios existentes en nuestro país que nos permitiera establecer las tipologías más representativas de nuestro parque de edificios, para la elaboración de este estudio hemos elegido de entre los DOE Benchmarks aquellos que consideramos más representativos⁵²², completándolos con un edificio de referencia representativo de los edificios residenciales distintos del bloque de pisos que hemos desarrollado en el marco de este informe.

Algunas de las tipologías de los DOE Benchmarks pueden resultar a primera vista poco representativas de las tipologías constructivas en España. Sin embargo, por un lado debemos evitar los juicios “a primera vista”, y es necesaria una correcta caracterización estadística del parque de edificios para poder definir lo que constituye una tipología representativa. Por otro lado, por lo que respecta al instante inicial del periodo considerado para el desarrollo de los escenarios procederemos a un calibrado de los resultados proporcionados por el modelo global del sector edificación para manejar esta y otras incertidumbres, y por lo que respecta al instante final del periodo analizado (año 2050), y especialmente para el contexto E3.0, algunas de las tipologías de edificios que a priori pueden parecer menos representativas del parque Español (como los restaurantes) pasan a estar dominadas por la energía de proceso, independizando en buena medida su desempeño energético de la geometría del edificio.

Por otro lado merece la pena comentar el hecho de que al adoptar unas tipologías fijas de los edificios limitamos el alcance de las medidas de eficiencia relacionadas con la forma del edificio⁵²³. Esto, por un lado,

refundición de la Directiva 2002/91/EC sobre el desempeño energético de los edificios (EPBD: Energy Performance Buildings Directive), por la evidente necesidad de endurecer y concretar sus planteamientos de cara a que la repercusión de su transposición en los estados miembros tuviera un efecto significativo en todos los estados miembros. La indefinición a estas alturas conduce a mayores retrasos en el despegue de una edificación de alta eficiencia.

Aspectos positivos de esta Directiva los constituyen el requerimiento de que los estados miembros elaboren planes nacionales para incrementar el número de nZEB, en los que debe figurar la definición adoptada por cada estado miembro para el concepto nZEB (y el correspondiente indicador de prestaciones energéticas en términos de kWh/m²·a de energía primaria que define el nZEB) y la publicación por parte de la CE a partir de 2012 de un informe trianual reflejando los avances de cada estado en el despliegue de los nZEB. También se establece en esta Directiva que los niveles mínimos de prestaciones energéticas de los edificios deberán establecerlos los estados miembros con el objetivo de alcanzar niveles óptimos de rentabilidad, y deben contrastarse los resultados establecidos por los estados miembros con un marco metodológico comparativo, para calcular los niveles óptimos de rentabilidad que establecerá la comisión en el año 2011, de tal forma que los estados miembros deban justificar ante la comisión discrepancias importantes (por encima del 15%) entre los requerimientos impuestos en la normativa y los valores óptimos de exigencia sobre las prestaciones de los edificios.

516 CTE: Código Técnico de la Edificación.

517 Los grados-día de un emplazamiento constituyen una medida de la divergencia acumulada de la temperatura ambiente de un emplazamiento respecto a una determinada temperatura de referencia. Si la temperatura de referencia empleada coincide con la temperatura de equilibrio del edificio considerado con su entorno (aquella para la cual las ganancias internas compensan las pérdidas por transmisión), entonces los grados-día, al multiplicarlos por la conductancia térmica de la envolvente del edificio, proporcionan directamente una

constituye un planteamiento conservador en relación al potencial de mejora, y por otro lado responde al alcance del estudio planteado, que pretende representar el conjunto

del sector edificación, y resulta muy distinto de la situación en la que se plantea optimizar un edificio concreto sometido a sus restricciones contextuales.

Figura 228. Edificio de referencia de oficinas. Corresponde al oficina media del DOE Benchmark. Área climatizada = 4.982 m².

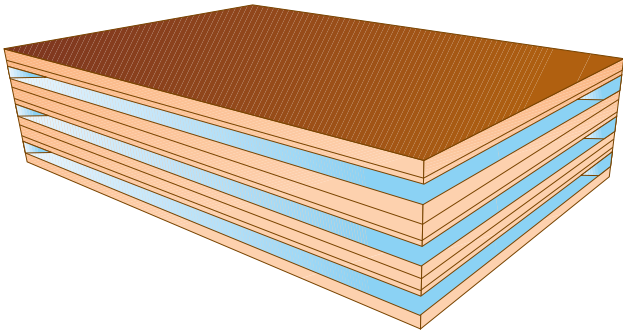


Figura 229. Edificio de referencia de almacén. Procede de DOE Benchmark. Área climatizada = 4.835 m².

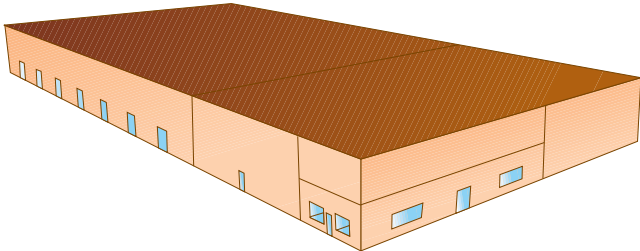
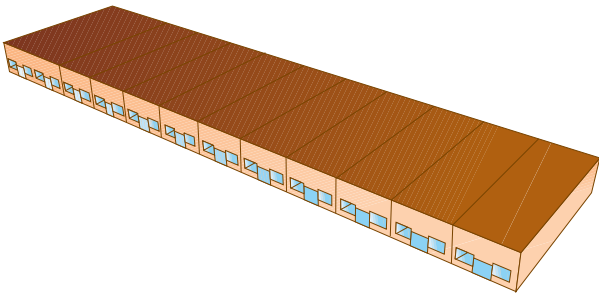


Figura 230. Edificio de referencia de comercio. Corresponde al centro comercial (strip mall) de DOE Benchmark. Área climatizada = 2.090 m².



estimación de la demanda energética (carga térmica) asociada al exceso de las pérdidas por transmisión que no se equilibra con las ganancias internas. Por este motivo, los grados-día constituyen una variable climatológica muy empleada para la caracterización climática de un emplazamiento desde el punto de vista de la demanda energética para climatización de los edificios en él situados. Se definen dos tipos de grados-día, los de régimen de calefacción y los de régimen de refrigeración, para caracterizar las demandas energéticas tanto en régimen de calefacción como de refrigeración.

- 518** ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- 519** Sin embargo, las temperaturas de referencia de los grados-día empleados por el CTE y por ASHRAE son distintas.
- 520** Deru, M.; Field, K.; Studer, D.; Benne, K.; Griffith, B.; Torcellini, P.; Halverson, M.; Winiarski, D.; Liu, B.; Rosenberg, M.; Huang, J.; Yazdani, M.; Crawley, D. (2009).
- 521** Edificio de oficinas grande, edificio de oficinas mediano, edificio de oficinas pequeño, almacén, comercio aislado, centro comercial, escuela primaria, escuela secundaria, supermercado, restaurante de comida rápida, restaurante, hospital, hospital de día, hotel pequeño, hotel grande, y bloque de viviendas.
- 522** Evidentemente 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 disponemos de esta información en España, y escapa totalmente al alcance de este estudio el elaborarla, por tanto consideramos que su elaboración y mantenimiento es una tarea que le corresponde a la administración.
- 523** La forma del edificio, tanto por lo que respecta a su compactidad y a su distribución geométrica, es una importante variable de diseño para optimizar su comportamiento energético al maximizar los aspectos positivos de su interacción con el clima local y minimizar los aspectos negativos.

En las figuras 228 a 236 recogemos las geometrías⁵²⁴ de los edificios de referencia empleados para facilitar la interpretación de los resultados presentados. Para los correspondientes edificios E3.0 pueden aparecer ligeras modificaciones como la variación de las áreas acristaladas.

Mención aparte merece el edificio de referencia para los edificios residenciales, pues no forma parte del DOE Benchmarks y lo hemos desarrollado para proporcionar una primera

aproximación del resto del parque de edificios residenciales que no constituyen un bloque de pisos. Dado que el área de edificios residenciales domina⁵²⁵ el total del área del parque edificatorio, no nos ha parecido adecuado describir el conjunto del parque residencial con un único edificio de referencia.

Los edificios residenciales son los únicos para los cuales se dispone en España de una caracterización parcial a través de los censos del INE.

Figura 231. Edificio de referencia de educación. Corresponde a la escuela primaria de DOE Benchmark. Área climatizada = 6.871 m².

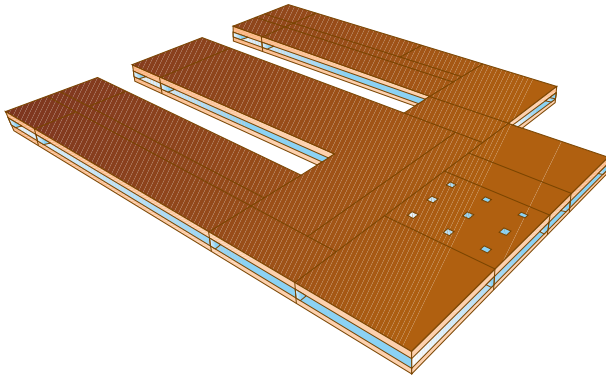
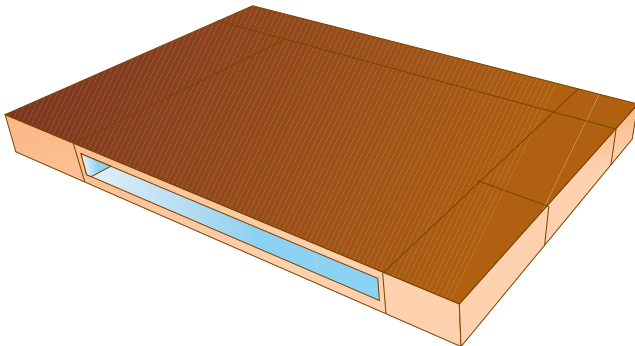


Figura 232. Edificio de referencia de supermercado. Corresponde al DOE Benchmark. Área climatizada = 4.181 m².



524 Las geometrías mostradas se corresponden a los edificios BAU, en el caso de los E3.0 aparecen algunas modificaciones como las asociadas a la incorporación de lucernarios para aprovechamiento de la iluminación natural en las plantas superiores. Estos lucernarios adicionales para el contexto E3.0 no introducen riesgos de incrementar la contaminación lumínica nocturna, pues por un lado se limitan a porcentajes pequeños de la superficie de cubierta (típicamente por debajo del 5%), y por otro lado van dotados de elementos inteligentes para aumentar su capacidad aislante durante las noches, de tal forma que en periodos nocturnos quedan cubiertos por una capa aislante que los convierte en opacos. Además, dada la limitación de los lucernarios para aportar iluminación natural tan solo a las plantas superiores, en el contexto E3.0 se despliegan también otros elementos de iluminación natural como los tubos de luz y la fibra óptica con capacidad de acceder a las zonas interiores del edificio.

525 Aunque como veremos más adelante, en términos energéticos su importancia se reduce dado el mayor consumo específico de otras tipologías de edificios.

Figura 233. Edificio de referencia de restaurante. Corresponde al DOE Benchmark. Área climatizada = 511 m².

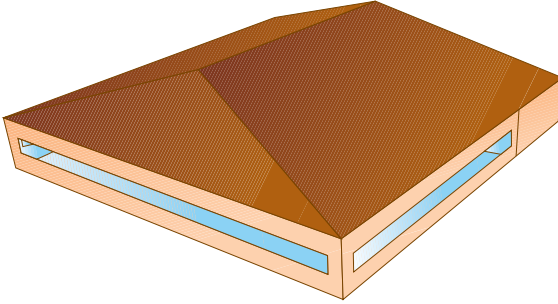


Figura 234. Edificio de referencia de hospital. Corresponde al DOE Benchmark. Área climatizada = 22.422 m². Los huecos que se observan son una consecuencia gráfica del uso de multiplicadores en el modelo energético, pero realmente están ocupados por estancias como las que se encuentran en los límites de los huecos.

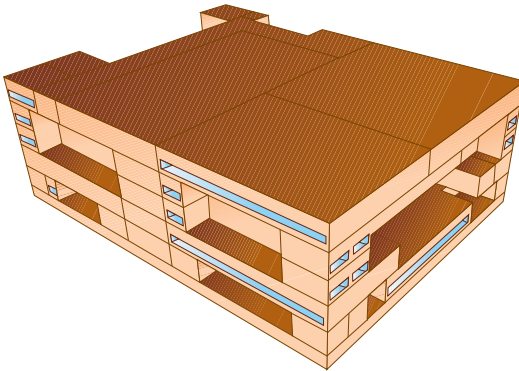


Figura 235. Edificio de referencia de hotel. Corresponde al DOE Benchmark. Área climatizada = 4.014 m².

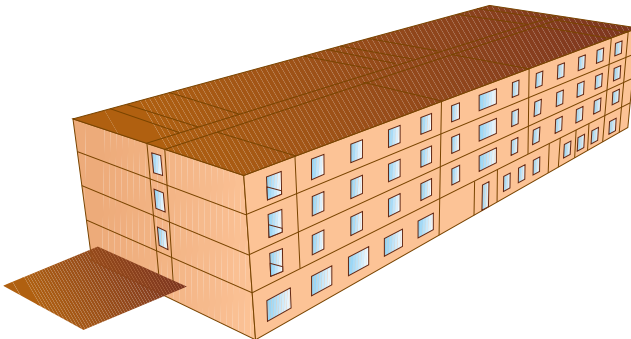
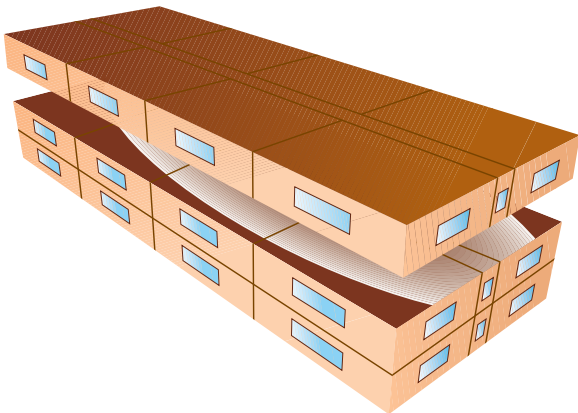


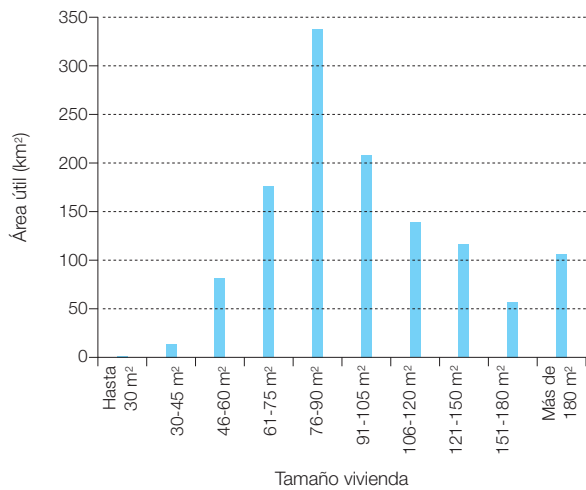
Figura 236. Edificio de referencia de residencial⁵²⁶: bloque de pisos. Corresponde al DOE Benchmark. Área climatizada = 3.135 m².



Las figuras 237 y 238 nos muestran la distribución de la superficie de viviendas según tamaño de la vivienda⁵²⁷ y según el número de plantas sobre rasante. Según esto elegimos viviendas de 84 m² distribuidas en dos plantas para elaborar el edificio de referencia. Por último, la figura 239 nos muestra el reparto

modal de la edificación residencial construida en el periodo 2000-2009, basándose en la cual elegimos una vivienda adosada para representar el parque residencial distinto de las viviendas en bloque. La figura 240 recoge la geometría del edificio de referencia seleccionado.

Figura 237. Distribución de la superficie del parque de viviendas según tamaño de las viviendas (datos INE, 2004).



⁵²⁶ Corresponde a un edificio de cuatro pisos, de los cuales solo se muestran tres porque el segundo y tercero son térmicamente equivalentes.
⁵²⁷ Censos de Población y vivienda 2001, INE.

Figura 238. Distribución de la superficie del parque de viviendas según el número de plantas sobre rasante (datos INE, 2004).

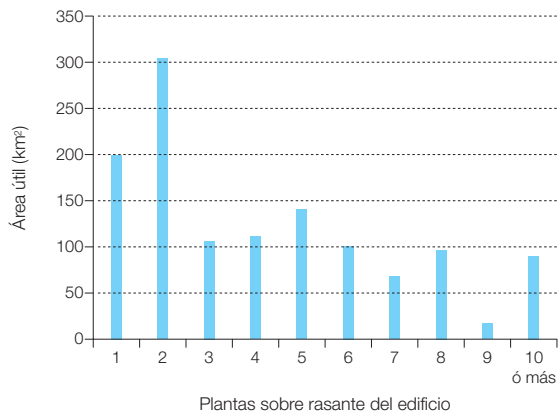


Figura 239. Distribución modal del área de edificios residenciales acumulada en el periodo 2000-2009 (datos Ministerio de Fomento, “boletín estadístico: Boletín_61_2”).

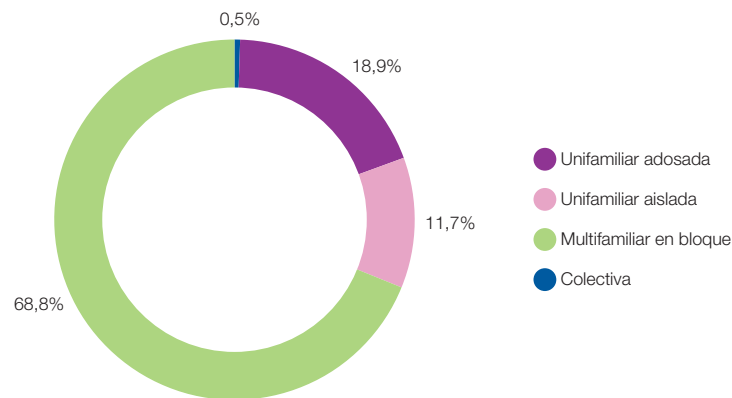
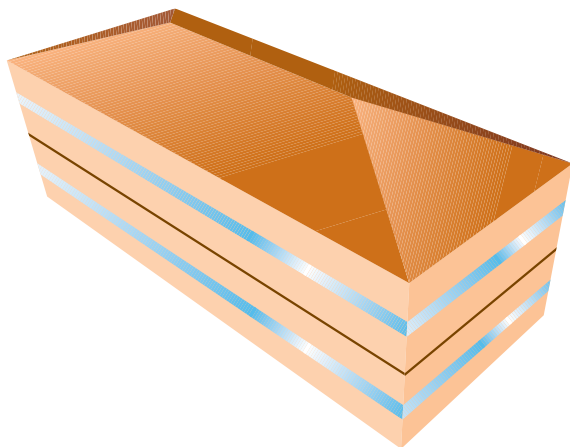


Figura 240. Edificio de referencia residencial (no bloque de pisos), representativo de tres viviendas adosadas de 84 m² cada una. Área acondicionada = 252 m².



3.7.1.11 Consumo energético de referencia de los edificios

El punto de partida para la elaboración de escenarios de consumo energético del sector edificación debería ser la correcta caracterización de la estructura del parque de edificios actual en términos energéticos.

Lamentablemente, en España carecemos de una caracterización de la estructura del sector edificación, tanto por lo que se refiere a su reparto modal, como por lo que se refiere a sus indicadores de consumo energético específico. En otros países sí que se dispone de esta información⁵²⁸, por lo que las medidas de promoción de la eficiencia pueden ser orientadas a objetivos, y lo que es más importante, su eficacia puede ser verificada a posteriori.

El único dato de partida que proporciona cierta información sobre el consumo del sector edificación es el consumo agregado del sector que se puede deducir de estadísticas globales como las presentadas por el AIE, y

que para el año 2007⁵²⁹ proporcionan en términos de energía primaria 299 TWh/a para los edificios residenciales y 230 TWh/a para los edificios terciarios⁵³⁰. Sin embargo, un dato tan agregado como este, obtenido probablemente de medidas indirectas, constituye una caracterización muy débil del sector, dejando muchos interrogantes abiertos tal y como mostraremos en el apartado dedicado al calibrado del consumo energético actual del sector edificación.

Otra información con la que contamos desde la aparición del RD 47/2007 sobre la certificación energética de edificios nuevos en España, son los niveles de referencia de consumo de energía empleados para configurar la escala de calificación energética. Sin embargo, hay tres inconvenientes asociados al uso de estos niveles de referencia:

- Solo hacen referencia a la energía regulada, es decir, a aquellos componentes de consumo que están regulados por la legislación actual. En el caso de los edificios

528 Por ejemplo en EE. UU., la EIA (US Energy Information Administration), actualiza cada cuatro años el CBECS (Commercial Buildings Energy Consumption Survey: commercial energy uses and costs). Según esta encuesta y los Benchmarks (edificios de referencia) desarrollados por el DOE y calibrados con los resultados de la CBECS, en los últimos años el DOE (departamento de energía de EE. UU.) ha lanzado la Net Zero Energy Buildings Initiative con el objetivo de producir edificios de consumo neto cero y económicamente viables para el año 2020 en el sector residencial, y para el año 2025 en el sector terciario. Con este fin, en los últimos años el DOE ha producido diversos estudios con medidas orientadas a los objetivos concretos de reducir un 30% o un 50% el consumo de energía en distintas tipologías de edificios respecto al estándar de construcción actual.

529 Último año disponible en la web de la AIE para las fechas de redacción de este informe (septiembre 2010).

530 Sin embargo, este dato también contiene una incertidumbre significativa, como pone de manifiesto la discrepancia entre los valores proporcionados por Eurostat y los de la AIE, que en principio deberían proceder ambos de la administración Española.

residenciales, esto se deja fuera entre otros a los consumos para iluminación y para equipamiento. Desafortunadamente, estos dos componentes, y especialmente el de equipamiento, son los que van a dominar la demanda energética de los edificios en el futuro, y especialmente en el contexto E3.0, por lo que la ausencia de caracterización y regulación de las mismas significa una seria barrera a la realización de los niveles de eficiencia que serían deseables.

- En el sector de los edificios terciarios, el indicador seleccionado para la calificación energética no es un indicador absoluto sino uno relativo⁵³¹, por lo que los límites de la escala de calificación no proporcionan ningún valor de referencia del consumo energético de los edificios y por tanto no nos aportan información adicional alguna.
- En el caso de los edificios destinados a vivienda⁵³², la escala de calificación sí que está basada en un indicador absoluto, por lo que nos proporciona niveles de referencia del consumo energético de los edificios (aunque solo de su componente regulada). Sin embargo, estos niveles de referencia no están asociados a las características del parque de edificios actual, sino a lo que deberían ser los edificios nuevos construidos cumpliendo el CTE⁵³³, y por tanto en todo caso serían representativos de los edificios nuevos cuyo proyecto fuera visado con posterioridad al 9/2006⁵³⁴. Por tanto, su utilidad para caracterizar la situación energética del parque de edificios actual⁵³⁵ es muy limitada.

Dadas estas limitaciones en la caracterización del parque de edificios en España y en la caracterización de los niveles de eficiencia que cabe esperar del mismo, de cara al futuro, además de la información que extraeremos

de la estructura de la calificación energética en edificios de vivienda, nos hemos apoyado también en los edificios de referencia de EE. UU. (DOE Benchmarks) para elaborar los escenarios del sector edificación.

En este punto vamos a presentar las conclusiones que se desprenden del procesado de la información disponible sobre la caracterización energética del parque de edificios, dejando su calibrado con los valores macro proporcionados por los balances de la AIE para más adelante, cuando ya hayamos introducido las hipótesis sobre el reparto modal de los edificios.

La principal conclusión de este análisis, desde la perspectiva de la elaboración de escenarios BAU y E3.0, es que los edificios de referencia actuales en EE. UU. pueden constituir una buena representación del escenario BAU en 2050 para España para el conjunto del parque de edificios.

3.7.1.12 Certificación energética en España

En este punto vamos a recopilar la información útil que se desprende de la calificación energética de edificios residenciales nuevos con vistas a la elaboración de los escenarios del sector edificación.

El primer punto a tener presente es que el CTE⁵³⁶ no es una regulación orientada a objetivos energéticos⁵³⁷. Una consecuencia directa de este hecho es que al establecer una calificación energética orientada a objetivos⁵³⁸, los edificios que rigurosamente cumplen con el CTE se distribuyen a través de toda la escala de calificación⁵³⁹. Por tanto, incluso si los edificios nuevos cumplieran el CTE a rajatabla, esto no nos proporcionaría

531 En efecto, para los edificios terciarios la escala de calificación energética se construye según un edificio de referencia que cambia proyecto a proyecto, pues se define como un edificio geoméricamente análogo al edificio que se va a certificar. Esta escala relativa es la que está en el origen de incongruencias como la de que un edificio de mayor consumo pueda tener una calificación mejor que otro de menor consumo (García-Casals, X., 2008-1). El problema se agrava todavía más por el hecho de que errores en la herramienta de calificación (CALENER) conducen a empeorar ficticiamente de forma exagerada las prestaciones del edificio de referencia, haciendo aparecer al edificio propuesto como relativamente muy bueno aunque su desempeño energético diste mucho de esta situación, y confiriéndole en consecuencia una calificación muy elevada que no merece. Por tanto, ni tan solo de los edificios de referencia para el sector terciario se puede extraer de la calificación energética información relevante en relación al nivel de consumo de energía de estos edificios para las distintas categorías de calificación.

532 En el documento reconocido "Escala de Calificación Energética. Edificios de nueva construcción. IDAE. Mayo 2009" puede encontrarse el desarrollo de las escalas de calificación de los edificios nuevos.

533 CTE: Código Técnico de la Edificación. Fin del periodo transitorio para su aplicación: 29/9/2006.

534 Suponiendo que estos edificios realmente cumplan los requerimientos del CTE en su ejecución real y más allá del papel (proyecto).

535 Esperemos que para cuando salga el procedimiento de calificación energética de los edificios existentes (que en principio tenía que haber salido a lo largo de 2010 pero que todavía no está disponible en las fechas de redacción de este informe: 10/2010), se proporcione una caracterización energética del parque de edificios actual que permita empezar a cubrir este déficit.

536 CTE: Código Técnico de la Edificación.

537 En efecto, las restricciones energéticas del CTE no establecen límites a la demanda energética de un edificio en términos de un indicador absoluto, como podría ser el consumo por unidad de superficie (kWh/m²).

información alguna sobre el nivel de consumo de energía de esos edificios.

La distribución oficialmente estimada⁵⁴⁰ de los edificios residenciales nuevos en la escala de calificación es la que reproducimos en la figura 241, donde se aprecia que la mayoría de edificios se encuentran en la clase D⁵⁴¹. El percentil⁵⁴² 40% de los edificios nuevos⁵⁴³, cumpliendo el CTE, es el que se empleó para definir el límite entre las calificaciones C y D.

Otro dato interesante para nuestros fines es que la degradación⁵⁴⁴ en energía primaria regulada al pasar de la frontera entre las calificaciones C-D (percentil 40% de muestra analizada) a la frontera entre las calificaciones D-E (percentil 95%) oscila entre 140%-149% en todas las capitales de provincia⁵⁴⁵.

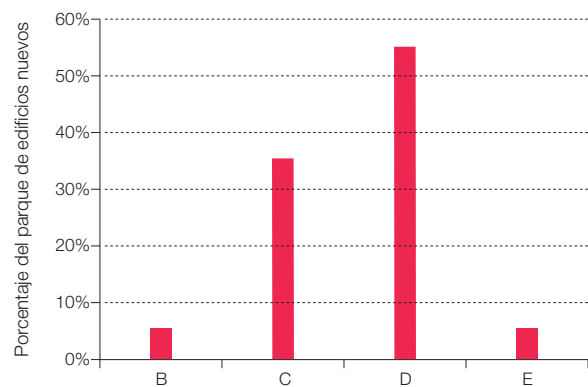
Los edificios construidos según la normativa anterior⁵⁴⁶ al CTE no son necesariamente peores⁵⁴⁷ a los del CTE⁵⁴⁸, especialmente en viviendas unifamiliares o edificios de baja compacidad (García-Casals, X., 2004, 2005, 2006-1).

Pero a priori hay motivos para presuponer que las prestaciones del parque actual son peores, tanto las del CTE como que las de la NBE-CT79:

- Antigüedad del parque.
- Discrepancia de los planos y justificaciones de cumplimiento de la normativa frente a lo realmente ejecutado en obra, y cómo se haya degradado a lo largo del tiempo.

En este contexto, como primera aproximación⁵⁴⁹ para establecer niveles de referencia del consumo energético del parque de edificios actual, supondremos que el nivel del consumo del parque de edificios actual⁵⁵⁰ viene caracterizado por una degradación del 135% respecto al límite D-E de la escala de calificación de edificios residenciales nuevos. Además, dada la situación actual, una primera aproximación del BAU 2050 podría ser que de media, el conjunto del parque de edificios se encontrará en el valor medio del intervalo asignado a la calificación C actual.

Figura 241. Estimación oficial de la distribución del parque de edificios residenciales nuevos (cumpliendo el CTE) por la escala de calificación.



a). Por el contrario se limitan a establecer límites de prestaciones en la mayoría de los elementos que generan la demanda energética del edificio (como los coeficientes de transferencia a través de su envolvente).

538 Es decir, basada en indicadores absolutos como es el caso de los edificios residenciales (no así de los terciarios).

539 Es decir, dados dos edificios que estrictamente cumplan el CTE, uno de ellos puede proporcionar un nivel de consumo energético correspondiente a la clase-B, mientras el otro puede ser de la clase-E. Este hecho queda ilustrado en el propio informe "Escala de Calificación Energética. Edificios de nueva construcción. IDAE. Mayo 2009".

540 Esta estimación se corresponde con la simulación de unos cuantos edificios tipo que estrictamente cumplan el CTE, y es la que sirvió de base para confeccionar la escala de calificación de edificios residenciales. En "Escala de Calificación Energética. Edificios de nueva construcción. IDAE. Mayo 2009" puede encontrarse más información al respecto.

541 Realmente no hay ningún elemento que garantice que no puedan existir edificios nuevos cumpliendo el CTE incluso en las calificaciones más extremas (A o F).

542 El percentil 40% quiere decir el punto correspondiente al 40% de la superficie útil del parque de edificios en la distribución de frecuencia acumulada de demanda energética (o de emisiones). Es decir, que el 40% de la superficie útil del parque de edificios presenta una demanda inferior o igual a la correspondiente al percentil 40%.

543 Según las tipologías empleadas para elaborar la escala.

544 Definiremos la degradación o coeficiente de degradación, al valor relativo del consumo de energía primaria en relación a un valor de referencia. Por tanto, en este caso, una degradación del 140% significa que el consumo de energía primaria de la frontera entre las calificaciones D-E es el 140% del correspondiente a la frontera entre las calificaciones C-D. En principio le denominamos coeficiente de degradación porque es de esperar un mayor consumo que en la referencia adoptada, pero podemos encontrarlos con coeficientes de degradación menores que la unidad, en cuyo caso significa que el comportamiento

Tabla 1. Hipótesis sobre los niveles de consumo de las componentes de energía no reguladas, tanto para el parque actual como para el BAU 2050 de los edificios residenciales.

kWh/m ² -a energía final	Parque actual	BAU 2050
Iluminación	14,5	9,7
Electrodomésticos	30	45
Cocina	18	18
Total	62,5	73,0

Por otro lado, tal y como hemos comentado, la regulación y certificación de edificios residenciales nuevos en España solo abarca algunas de las componentes de la demanda energética de los edificios (climatización⁵⁵¹ y ACS), dejándose fuera componentes como pueden ser la iluminación y los equipamientos. Pero lo que a nosotros nos interesa para caracterizar energéticamente al sector es el conjunto de su demanda energética. Por este motivo, hemos añadido unas hipótesis para caracterizar la demanda de energía no regulada de los edificios residenciales, tanto en la situación actual como en el BAU 2050. Teniendo en cuenta la ausencia de regulación sobre estas componentes energéticas, realmente es excesivamente optimista el presuponer que el BAU 2050 experimentará una mejora significativa respecto a la situación actual. De hecho, por lo que concierne a los equipamientos, la tendencia que cabe esperar es a un crecimiento de la potencia instalada, pues a pesar de las mejoras en eficiencia de los equipos individuales, su cantidad cabe esperar que se incremente a medida que pase el tiempo, siguiendo la actual tendencia en introducción de equipamientos en los hogares⁵⁵². En la tabla 1 recogemos los valores que hemos usado en términos de energía final⁵⁵³ para elaborar los resultados de este apartado.

Según estas suposiciones, presentamos a continuación los resultados asociados al procesado de la información correspondiente a la escala de calificación de edificios residenciales nuevos, proporcionando una primera aproximación tanto de la caracterización actual del parque de edificios residenciales, como del BAU 2050 para estos edificios.

Como una primera referencia de eficiencia energética, en los resultados aquí presentados añadiremos los niveles de consumo asociados al estándar Passiv Haus⁵⁵⁴, no porque sea un estándar objetivo para el año 2050, sino por ser un estándar que ya han adoptado algunos países⁵⁵⁵, y que en la propia UE se llegó a proponer para su adopción a partir de 2015⁵⁵⁶.

3.7.1.12.1 *Demanda energética de referencia: Edificios residenciales*

En primer lugar presentamos la demanda energética asociada a los denominados valores de referencia de la calificación energética, que corresponden al percentil 50%⁵⁵⁷ de los valores de la “muestra” empleada para desarrollar la escala de calificación⁵⁵⁸, y por tanto deberían ser representativos del promedio de los edificios construidos cumpliendo la regulación actual (CTE). En las figuras 242 a 246 encontramos los resultados

energético de los edificios considerados es mejor que el de la referencia adoptada.

545 El hecho de que este cociente difiera en las distintas capitales de provincia es debido a que la escala de calificación se modifica para cada una de las 12 zonas climáticas en que el CTE divide España.

546 NBE CT-79.

547 Este hecho es una consecuencia de que se modificara el indicador al pasar de la regulación anterior (NBE CT-79), que empleaba un coeficiente global de transferencia de todo el edificio cuyo límite estaba asociado a la compactidad del edificio, a la actual (CTE), que se basa en los coeficientes de transferencia de cada uno de los componentes del edificio independientemente de la compactidad del edificio, de tal forma que no se puede comprobar directamente si se ha incrementado el grado de exigencia. Al traducir los indicadores del actual CTE al indicador de la anterior NBE CT-79 es cuando se pueden comparar ambas regulaciones, pudiendo observar cómo la nueva regulación (CTE) resulta menos exigente que la anterior para los edificios de baja compactidad (los menos eficientes), proporcionando una ligera mejora para los edificios de elevada compactidad. (García-Casals X., 2004), (García-Casals X., 2005), (García-Casals X., 2006-1).

548 Suponiendo que ambos cumplan estrictamente los requerimientos de la normativa, que ya es mucho suponer...

549 Más adelante, en el apartado dedicado al calibrado del parque de edificios con indicadores macro de la AIE, retomaremos este punto.

550 Es importante apuntar aquí las grandes diferencias en el nivel de consumo del parque de edificios a las que puede conducir la internalización o no de la demanda de condiciones de confort. Así, por ejemplo, en el Reino Unido se ha constatado que las condiciones de confort de los ocupantes de los edificios presentan un importante nivel de adaptación con parámetros socioeconómicos, de tal forma que las temperaturas interiores medias en los edificios residenciales se sitúan en torno a los 15,5 °C en lugar de los 21 °C presupuestos, con lo que el consumo real de los edificios será sensiblemente inferior al que tendrían si mantuvieran una consigna interior de temperatura de 21 °C. En nuestro análisis vamos a presuponer que las condiciones de confort

correspondientes a las viviendas unifamiliares, mientras que en las figuras 247 a 251 encontramos los resultados asociados a las viviendas en bloque, todo ello para las distintas capitales de provincia de la España peninsular.

Por lo que respecta a las emisiones de CO₂, los valores presentados son los correspondientes al esquema de calificación energética, y por tanto hay que interpretarlos como los que se permiten⁵⁵⁹ para la categoría de edificio considerada.

Figura 242. Consumo medio de energía primaria regulada en viviendas unifamiliares cumpliendo CTE.

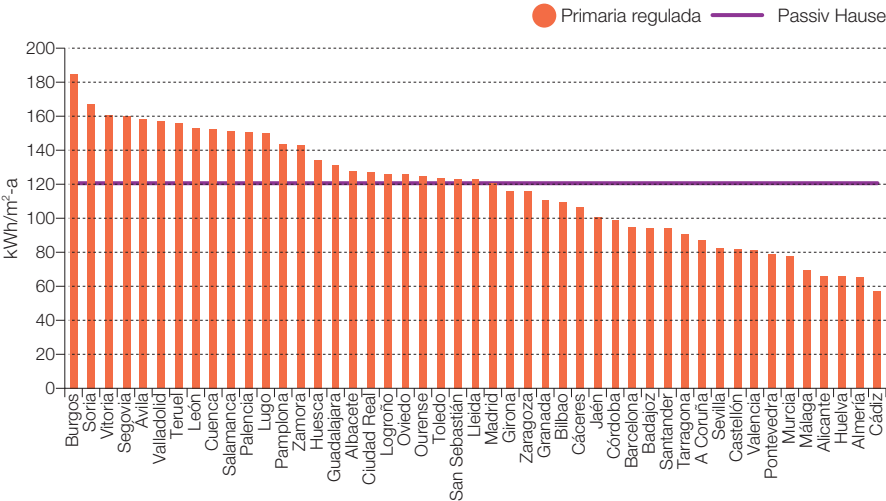
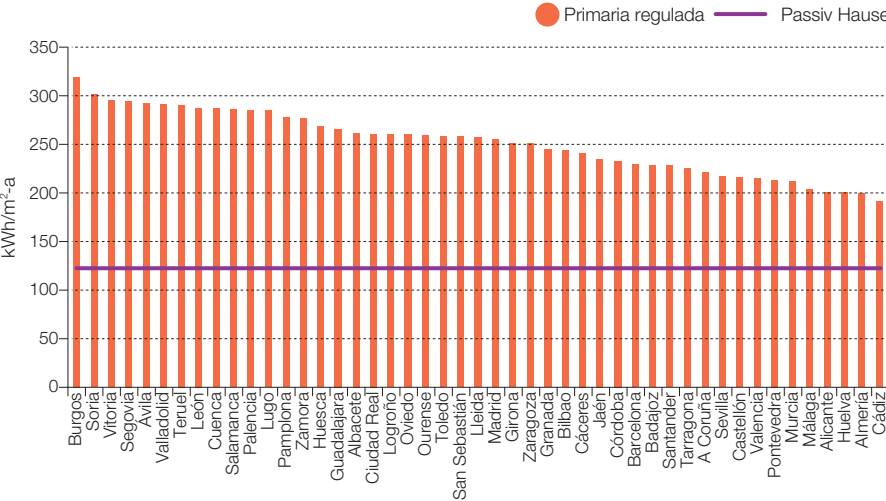


Figura 243. Consumo medio de energía primaria total en viviendas unifamiliares cumpliendo CTE.



estándar están totalmente internalizadas.

551 Vamos a considerar que en la demanda energética de climatización se encuentra también incluido el consumo para ventiladores y bombas.

552 Para la elaboración de los escenarios de este estudio, hemos tomado como punto de partida la demanda de servicios, que en esencia consideramos igual para los escenarios BAU y eficientes. Este planteamiento es conservador en el sentido de no condicionar los potenciales de eficiencia a un cambio radical en la estructura de la demanda de servicios. Pero no debe perderse de vista que la eliminación de aquella parte de la demanda de servicios que pueda resultar superflua facilita de forma significativa la evolución hacia un contexto E3.0, y en esencia constituye un signo de inteligencia en el sistema social.

553 Los factores de conversión de energía final a energía primaria que hemos usado en este apartado, así como los correspondientes factores de emisiones de CO₂, son los valores implementados en la calificación energética de edificios. Sin embargo, es preciso apuntar que estos factores de conversión pueden diferir mucho de los que tengamos en el futuro (escenarios). Es más, para el caso del factor de emisiones de la electricidad, el valor implementado en el procedimiento de calificación energética de edificios (649 g CO₂/kWh) se encuentra incluso ya en la actualidad muy alejado de los valores de 270 g CO₂/kWh del sistema eléctrico español en 2009 (CNE).

554 El estándar Passiv Haus establece un límite de consumo energético en términos de energía primaria de 120 kWh/m²-a, incluyendo las siguientes componentes de consumo dentro de este límite: calefacción, refrigeración, ventilación, ACS, iluminación y electrodomésticos. Por tanto vemos que representa una referencia apropiada para el consumo de energía primaria total (y no tan solo de la energía primaria regulada en nuestro país). Respecto a sus exigencias en términos de limitación de la demanda de climatización, este estándar desarrollado en países centro y norte europeos, en los que domina la demanda de calefacción establecen un límite de 15 kWh/m²-a para la demanda de climatización. El estándar se fundamenta en la aplicación de super-aislamiento

Figura 244. Emisiones de CO₂ medias en viviendas unifamiliares cumpliendo CTE.

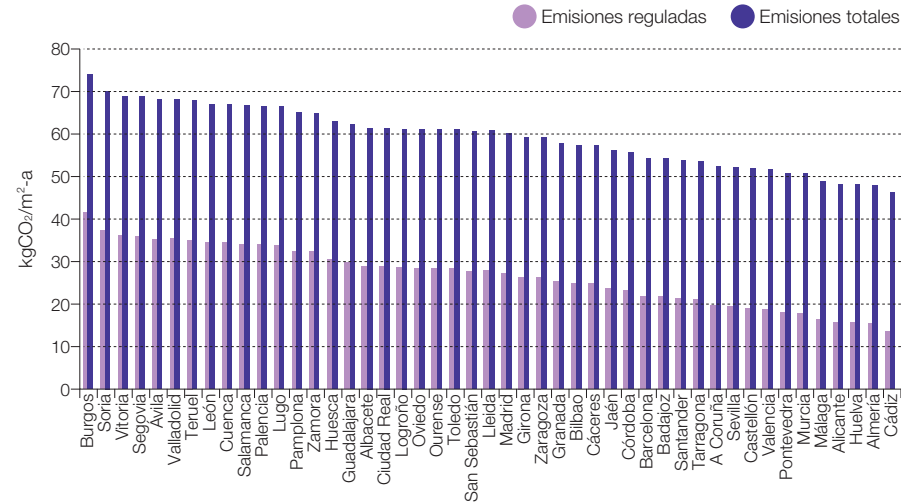
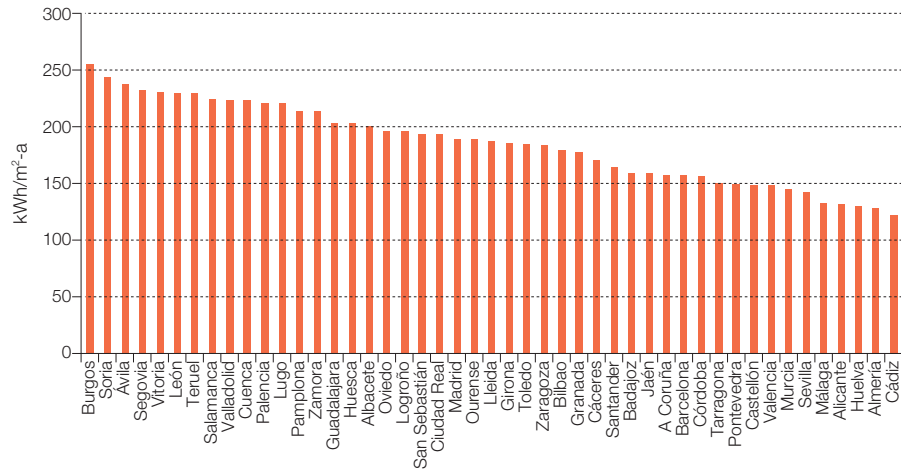


Figura 245. Consumo medio de energía final total en viviendas unifamiliares cumpliendo CTE.



En referencia a la electrificación que aparece recogida en las figuras, definimos como tal el porcentaje de la energía final que se consume en forma de electricidad, y nos proporciona una indicación de la exigencia que imponen los edificios sobre el sistema eléctrico.

en componentes opacas y acristalamiento, eliminación de puentes térmicos, reducción de infiltraciones, recuperación de calor del aire de ventilación, empleo de ventiladores eficientes, y aplicación de tecnologías de bomba de calor en condiciones eficientes (entre impulsión y extracción del aire de ventilación).

555 Algunas regiones de Alemania, Suecia. Otros países (Austria, Holanda, UK) han expresado sus intenciones de incorporar este estándar antes de 2015.

556 Aunque como hemos comentado finalmente la versión definitiva de la nueva directiva de eficiencia energética en los edificios (2010/31/UE) se decantó por introducir el requerimiento de edificios de consumo *casi nulo* a partir del año 2020. Sin embargo, la indefinición del término *casi nulo* hace que en la práctica no se sepa si el resultado será más o menos exigente que el estándar Passiv Haus.

557 Aproximadamente la media.

558 Correspondiendo por tanto a una calificación energética D.

559 En efecto, son los valores correspondientes a los coeficientes de emisiones empleados en la calificación energética, y a pesar de los errores que puedan contener algunos de estos coeficientes de emisiones "oficiales", conducen a un indicador absoluto de emisiones permitidas en esa categoría de edificio.

Figura 246. Electrificación media en viviendas unifamiliares cumpliendo CTE.

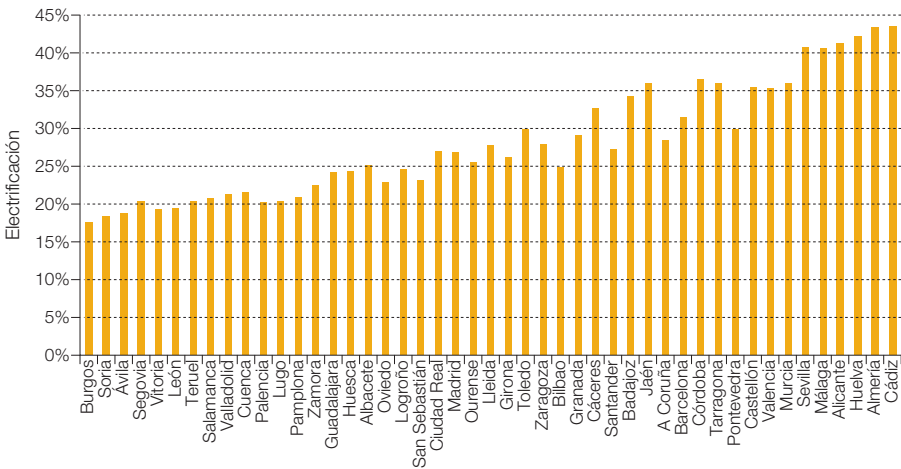


Figura 247. Consumo medio de energía primaria regulada en viviendas bloque cumpliendo CTE.

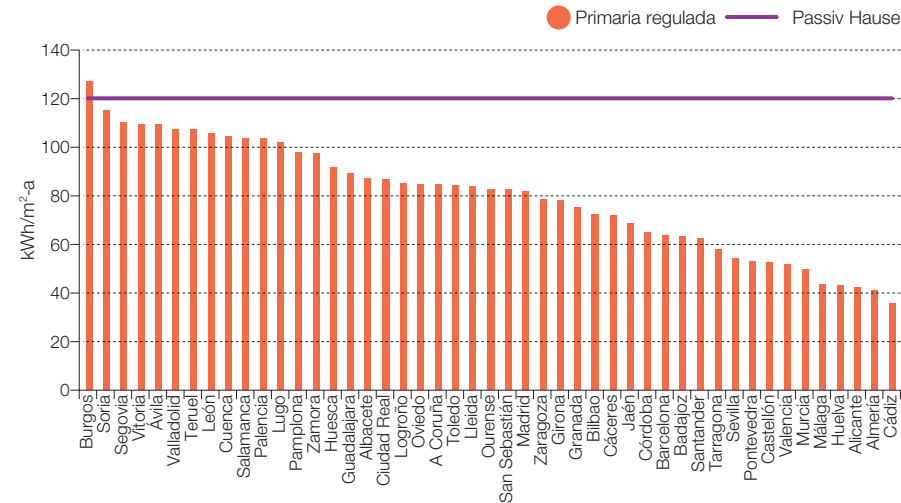


Figura 248. Consumo medio de energía primaria total en viviendas bloque cumpliendo CTE.

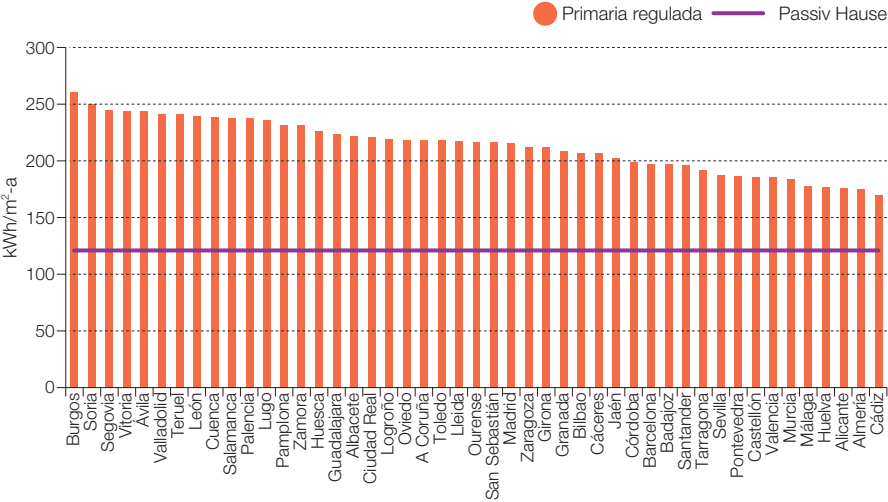


Figura 249. Emisiones de CO₂ medias en viviendas bloque cumpliendo CTE.

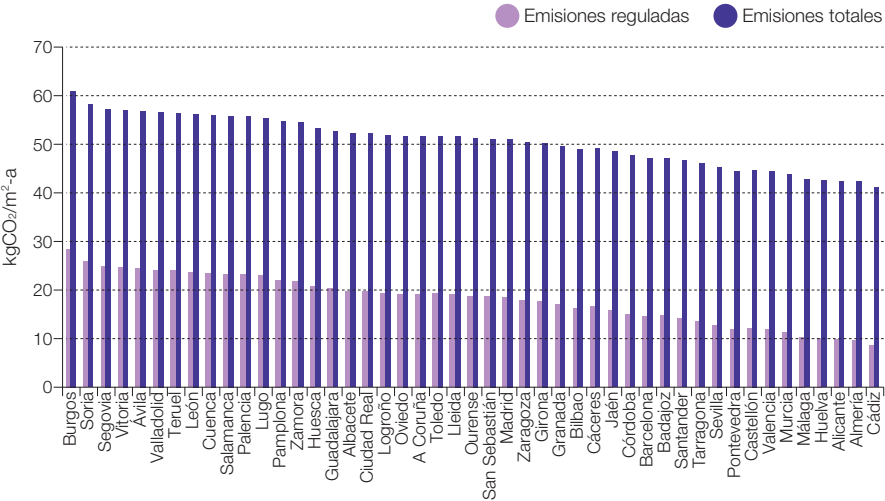


Figura 250. Consumo medio de energía final total en viviendas bloque cumpliendo CTE.

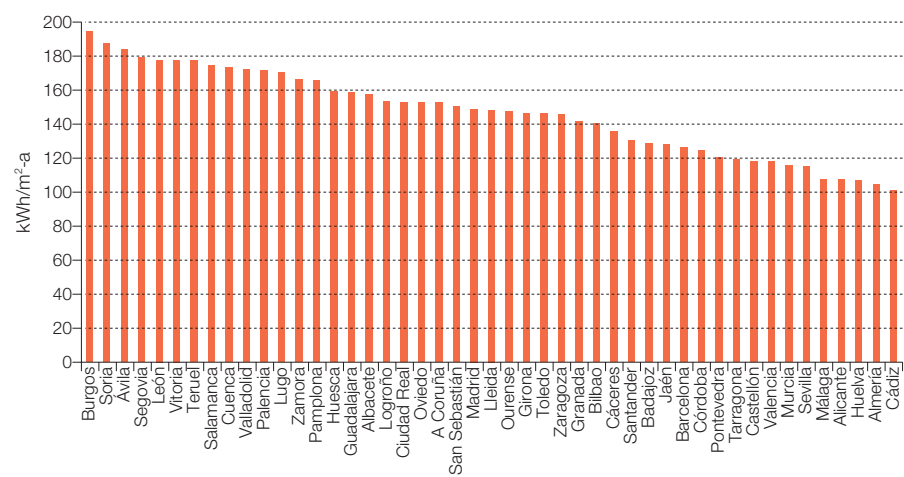
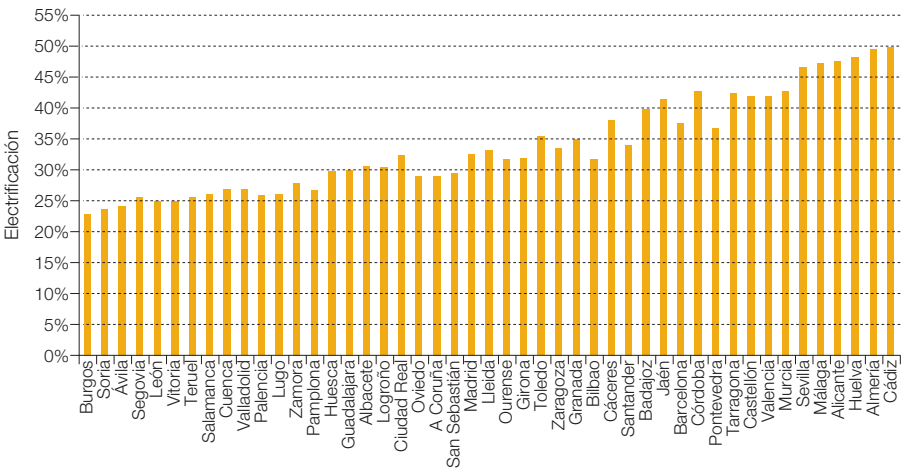


Figura 251. Electrificación media en viviendas bloque cumpliendo CTE.



A la vista de estos resultados podemos extraer varias conclusiones:

- Al observar los gráficos de energía primaria total, podemos concluir que los niveles permitidos de consumo de energía son muy elevados, lo cual es todavía más crítico si tenemos en cuenta que el procedimiento regulatorio no evita que lo realmente construido tenga un desempeño peor que lo proyectado.
- Resulta interesante comparar estos niveles permitidos de consumo de energía primaria total con los correspondientes al estándar Passiv Haus. Para los emplazamientos de mayor severidad climática de invierno, como Burgos, el consumo de energía primaria permitido por la regulación española es del orden del 270% superior al límite de Passiv Haus. Si tenemos en cuenta que la severidad climática de invierno en los países donde está implementado el estándar Passiv Haus (Alemania, Suecia) es considerablemente superior a la de España, podemos concluir que en el caso de extender la certificación energética de España a esos países, el nivel de consumo de energía primaria permitido sería incluso superior al que encontramos para las provincias españolas.
- Al fijarnos en los gráficos de energía primaria regulada, observamos que hay una gran variación espacial de los consumos permitidos⁵⁶⁰, con un factor superior a tres entre los consumos regulados permitidos en Burgos y los permitidos en Cádiz. Este resultado contrasta por ejemplo con la regulación en EE. UU., donde tal y como veremos más adelante con la aplicación de los DOE Benchmarks a las provincias españolas, el nivel permitido de consumo energético regulado es mucho más uniforme. En este sentido, parece que las discriminaciones climáticas

introducidas en España son excesivas, y tendría todo el sentido eliminar tal discriminación climática e imponer un objetivo de consumo común (tipo Passiv Haus).

- El estándar Passiv Haus, si bien parece apropiado y alcanzable en las condiciones actuales, debería hacerse bastante más exigente de cara al futuro próximo si se quiere acotar el impacto del sector edificación sobre el sistema energético, y especialmente en el planteamiento de integración de dicho sistema energético en el que se incrementa mucho la electrificación del sector edificación.
- También es de resaltar la gran diferencia entre el consumo regulado y el total: Los elementos que quedan fuera de la regulación, no solo tienen un peso muy importante, sino que además, con el paso del tiempo, son los que tienen tendencia a ir aumentando.

A la vista de los resultados anteriores, cabe preguntarse: ¿tiene sentido el proporcionar una mayor permisividad según la severidad climática de invierno del emplazamiento? Desde nuestro punto de vista la respuesta es que no, y menos teniendo en cuenta que países con severidades climáticas de invierno más elevadas que las que encontramos en España ya están adoptando estándares mucho más exigentes como el Passiv Haus. Parece tener toda la lógica que si un emplazamiento tiene mayor severidad climática de invierno que otro, los edificios en ese emplazamiento deberían construirse con mayores niveles de aislamiento. Esto puede conducir a un coste del m² de edificio construido algo superior en los emplazamientos de severidad climática de invierno elevada⁵⁶¹, pero a unos costes de operación parecidos. El enfoque actual, parece estar totalmente alineado con el anterior enfoque del sistema económico: vender

⁵⁶⁰ Así mismo, hay una importante variación entre los valores permitidos para viviendas en bloque y los de viviendas unifamiliares.

⁵⁶¹ Aunque esto en parte se compensará con los menores requerimientos para reducir la demanda de refrigeración, que no se encuentra totalmente internalizada en la regulación energética actual.

casas en lugar de servicios. Pero en un enfoque de economía inteligente donde lo que se venden son los servicios, debería cambiarse radicalmente el enfoque, asignando un valor homogéneo para todo el territorio del consumo de energía permitido.

Yendo más allá, parece que lo más coherente sería imponer un nivel del consumo permitido para el total del edificio según un baremo prefijado de ocupación (m^2/p). Por ejemplo, si se fijara una referencia de ocupación de los edificios en términos de m^2/p , modulado con consideraciones del uso del edificio (por ejemplo, si el edificio se usa para vivir y para trabajar, se aumenta la dotación ocupacional disponible), si alguien decide que quiere más m^2/p , pues debería hacer más eficiente el edificio para mantener el mismo consumo energético de alguien que decida ajustar el valor de m^2/p a la dotación de referencia o incluso hacerlo menor. En efecto, la opción de reducir los m^2/p es desde un punto de vista energético equivalente a la de hacerse con una caldera más eficiente, por lo que debería dejarse libre esta variable. La situación actual en la que en el mejor de los casos⁵⁶² se impone un límite a los kWh/ m^2 -a, es tal que permite el despilfarro energético si un usuario decide tener muchos más m^2/p en su edificio⁵⁶³.

3.7.1.12.1.1 Demanda energética del parque actual: edificios residenciales

En este punto recopilamos una primera aproximación de la estructura energética del parque de edificios residenciales actual, obtenida considerando que queda correctamente representado por una degradación del 135%⁵⁶⁴ del límite entre las calificaciones D y E de la escala de calificación de edificios residenciales nuevos⁵⁶⁵. Esta hipótesis parece razonable, e incluso algo optimista, en el contexto de

la regulación actual en el que la degradación experimentada por los edificios de la muestra empleada para configurar la escala de calificación de edificios nuevos⁵⁶⁶ al pasar de los límites C-D al límite D-E de la escala es del 140-149% en todas las provincias.

Las figuras 252 a 255 nos muestran los resultados correspondientes a las viviendas unifamiliares, mientras que las figuras 256 a 259 recogen los resultados correspondientes a las viviendas en bloque. Como podemos ver al analizar los gráficos correspondientes al consumo de energía primaria total, los niveles de consumo del parque residencial actual en los emplazamientos de mayor severidad climática pueden llegar a ser del orden del 400% de lo permitido por el estándar Passiv Haus.

Estos grandes niveles de consumo permitido no tienen porqué verse reflejados actualmente en los indicadores macro⁵⁶⁷ del consumo del sector edificación, pues la adaptación socioeconómica de las condiciones de confort y uso de equipamientos pueden entrar en juego y evitar que se internalice toda la demanda potencial. Pero sin embargo, estos niveles de consumo sí que son indicativos del consumo potencial del sector edificación a medida que se internalicen todas las demandas de servicios energéticos.

⁵⁶² Tampoco es así en la regulación española por el uso de referencias variables que conducen a que incluso los edificios que cumplen estrictamente con la regulación tengan una dispersión que les haga distribuirse por la escala de certificación desde la B a la E o menor.

⁵⁶³ En cierta forma esta situación es análoga al tema de los vehículos: el límite de emisiones permitidas no debería depender del tipo de vehículo adquirido siempre y cuando sea para un mismo tipo de uso.

⁵⁶⁴ Como indicábamos más arriba, una degradación o coeficiente de degradación del 135% quiere decir que el consumo de energía del parque actual es un 135% superior al correspondiente al límite entre las calificaciones D y E.

⁵⁶⁵ Por tanto esta degradación afecta tan solo a las componentes de demanda reguladas.

⁵⁶⁶ Todos ellos edificios que estrictamente cumplen el CTE, y por tanto en principio mejores que los edificios del parque actual.

⁵⁶⁷ Como los correspondientes a los datos de la AIE.

Figura 252. Consumo medio de energía primaria regulada en viviendas unifamiliar parque actual.

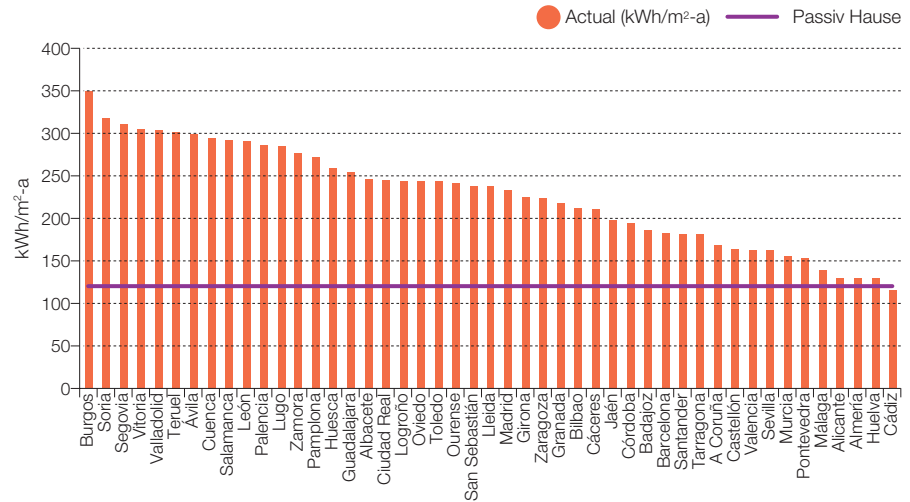


Figura 253. Consumo medio de energía primaria total en viviendas unifamiliar parque actual.

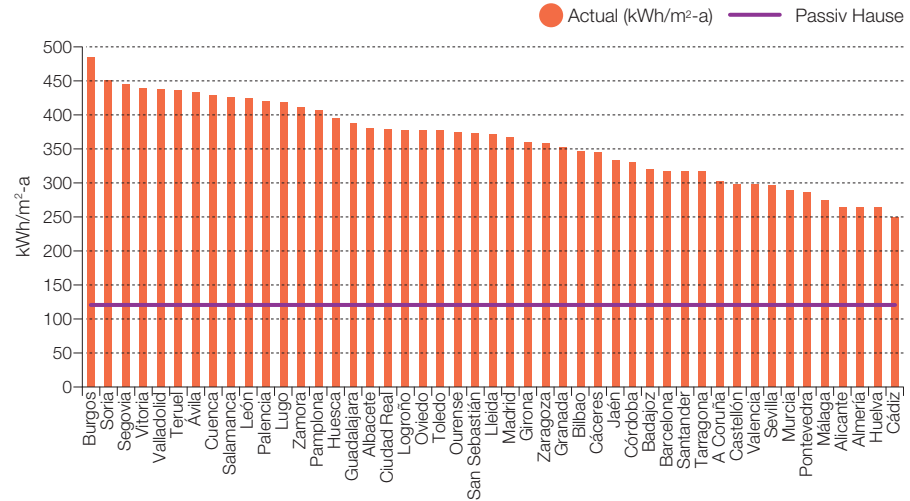


Figura 254. Consumo medio de energía final total en viviendas unifamiliar parque actual.

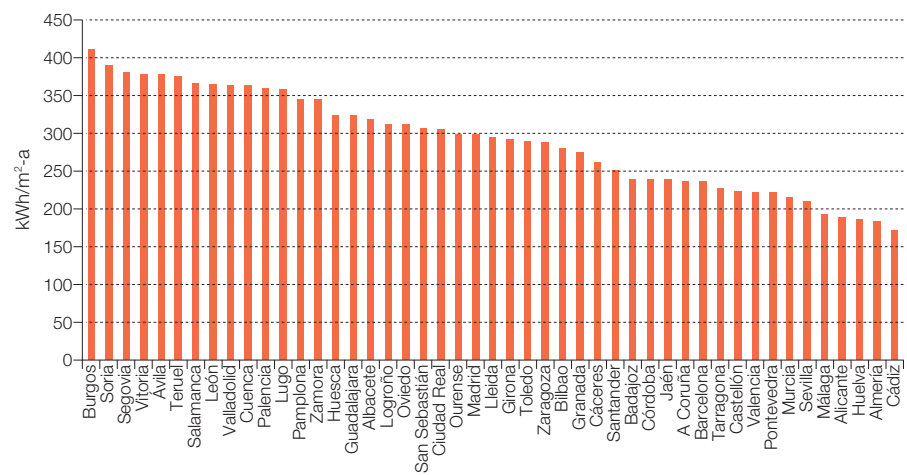


Figura 255. Electrificación en viviendas unifamiliar parque actual.

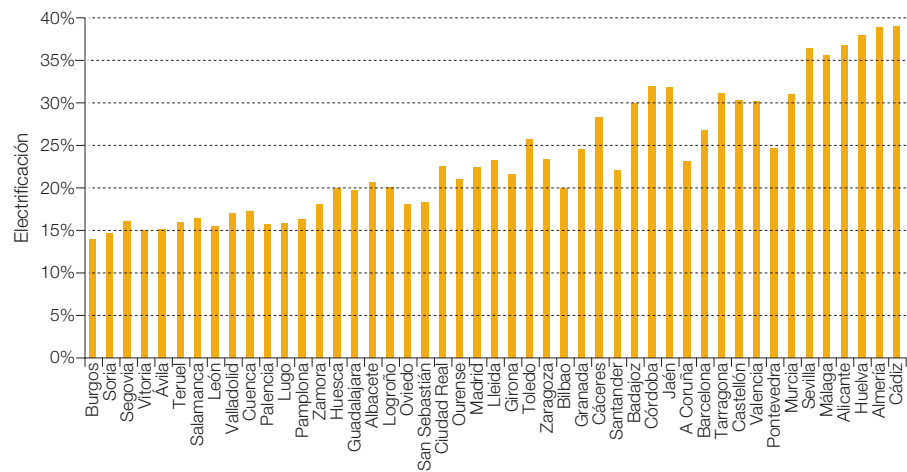


Figura 256. Consumo medio de energía primaria regulada en viviendas bloque parque actual.

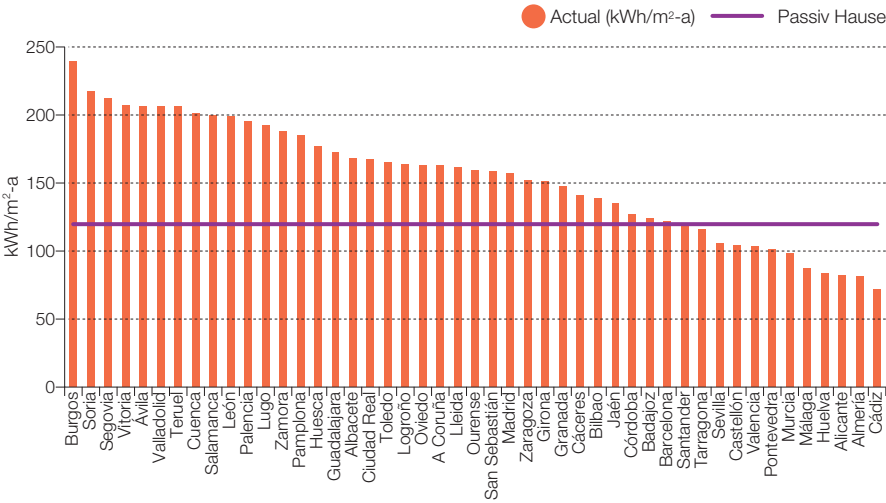


Figura 257. Consumo medio de energía primaria total en viviendas bloque parque actual.

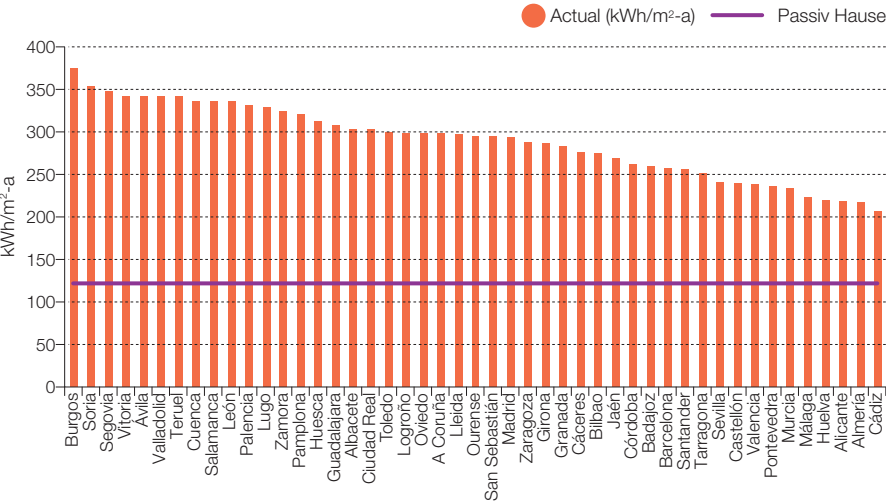


Figura 258. Consumo medio de energía final total en viviendas bloque parque actual.

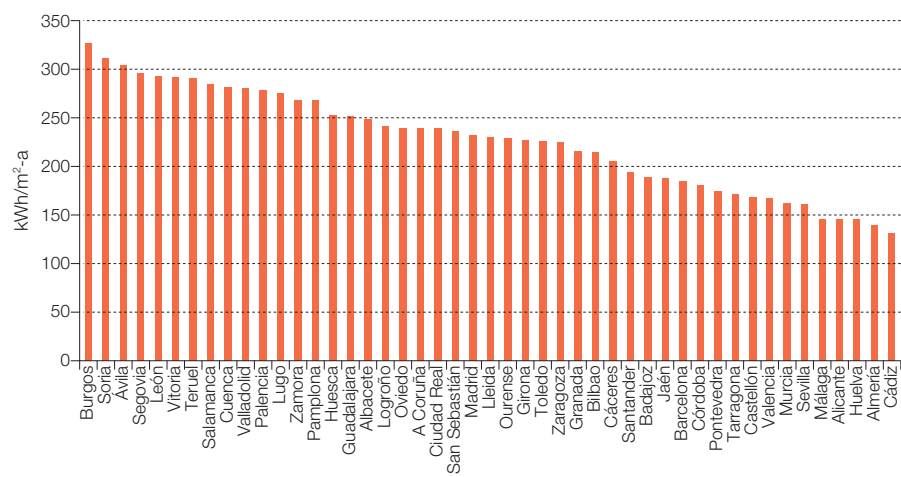
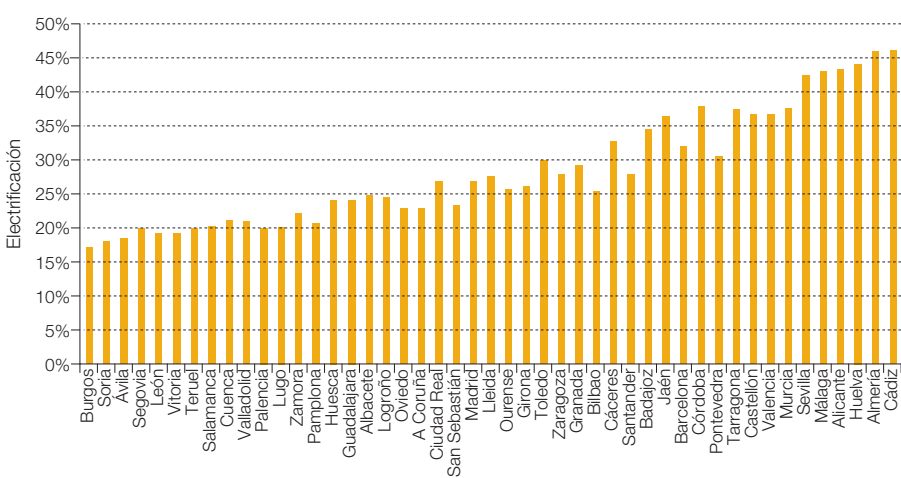


Figura 259. Electrificación en viviendas bloque parque actual.

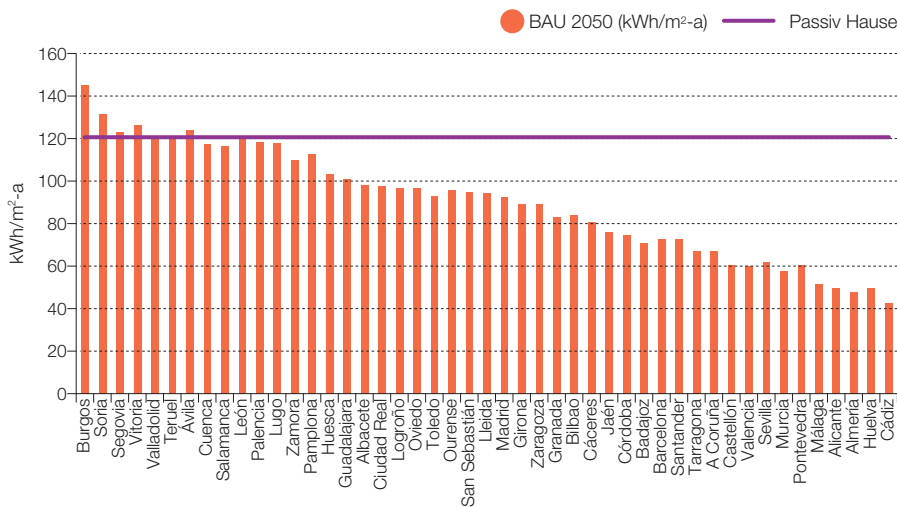


3.7.1.12.1.2 Demanda energética BAU 2050: edificios residenciales

En este punto recogemos los resultados de una primera aproximación a lo que podría ser el BAU del sector edificación residencial en el año 2050. Esta primera aproximación se ha obtenido con la hipótesis de que la media del parque edificatorio en el año 2050 se consigue colocar en el punto medio del intervalo de consumos correspondiente a la calificación C de la calificación energética de edificios residenciales nuevos⁵⁶⁸.

En las figuras 260 a 263 presentamos los resultados correspondientes a las viviendas unifamiliares, mientras que en las figuras 264 a 267 recogemos los resultados asociados a las viviendas multifamiliares en bloque. Como podemos observar en los gráficos de consumo de energía primaria total, en el contexto actual, los BAU para el año 2050 pueden llegar a permitir hasta un 260% del consumo que hoy ya fija el estándar Passiv Haus en los emplazamientos de mayor severidad climática de invierno de nuestro país.

Figura 260. Consumo medio de energía primaria regulada en viviendas unifamiliar parque BAU 2050.



⁵⁶⁸ Esta hipótesis podría considerarse excesivamente optimista a la luz de que por un lado estamos hablando del promedio de todo el parque de edificios, y de que por otro lado los edificios nuevos que se están construyendo actualmente (y que por tanto estarán presentes en el año 2050), sobre el papel tendrán en promedio una calificación D, con edificios que caerán dentro de la calificación E o inferior, y que además puede existir una importante divergencia entre lo que se justifica sobre el papel (cumplimiento del CTE y calificación energética) y lo finalmente ejecutado en obra.

Figura 261. Consumo medio de energía primaria total en viviendas unifamiliar parque BAU 2050.

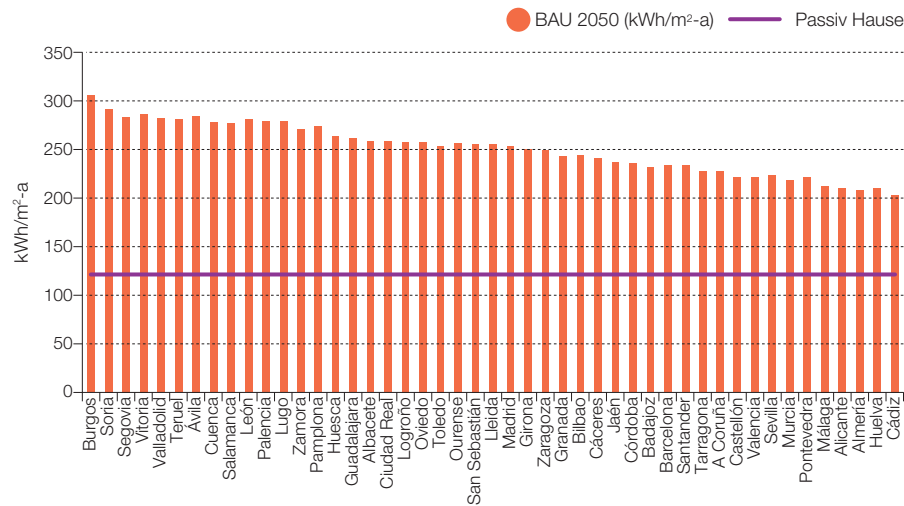


Figura 262. Consumo medio de energía final total en viviendas unifamiliar parque BAU 2050.

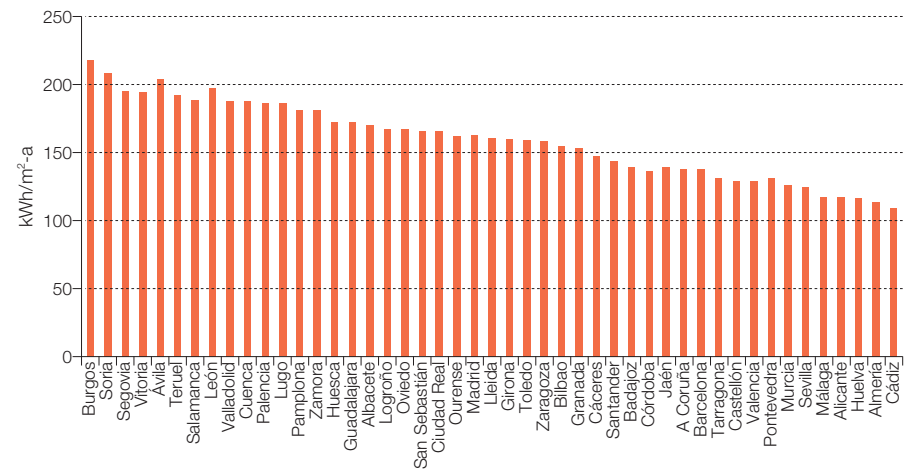


Figura 263. Electrificación en viviendas unifamiliar parque BAU 2050.

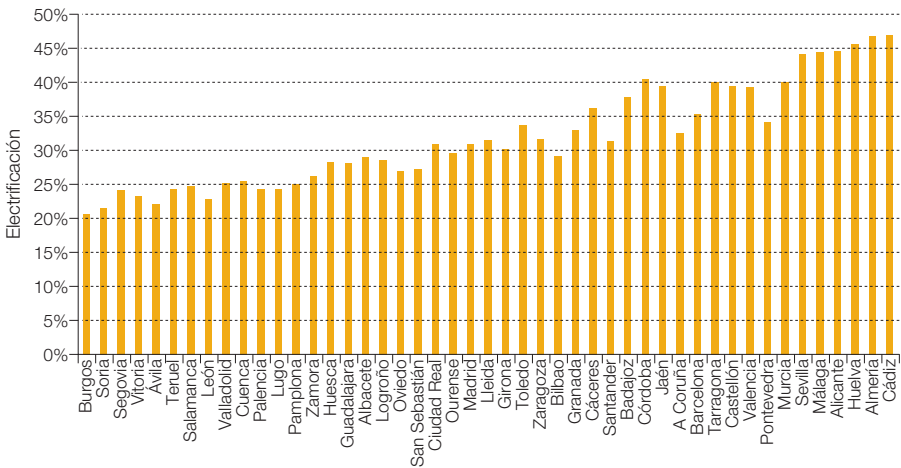


Figura 264. Consumo medio de energía primaria regulada en viviendas bloque parque BAU 2050.

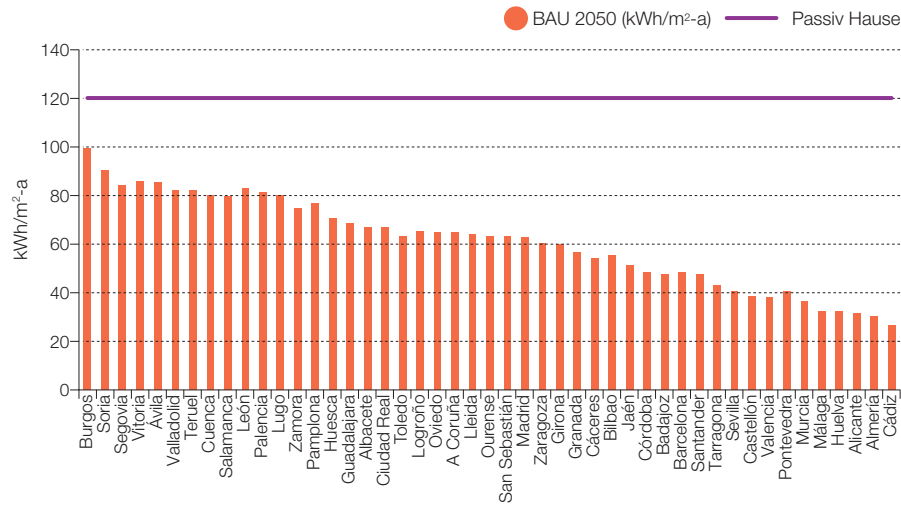


Figura 265. Consumo medio de energía primaria total en viviendas bloque parque BAU 2050.

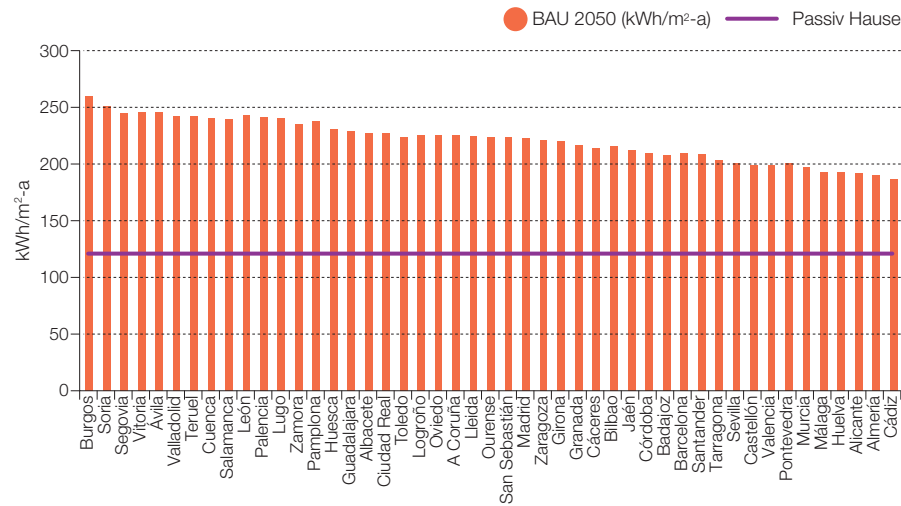


Figura 266. Consumo medio de energía final total en viviendas bloque parque BAU 2050.

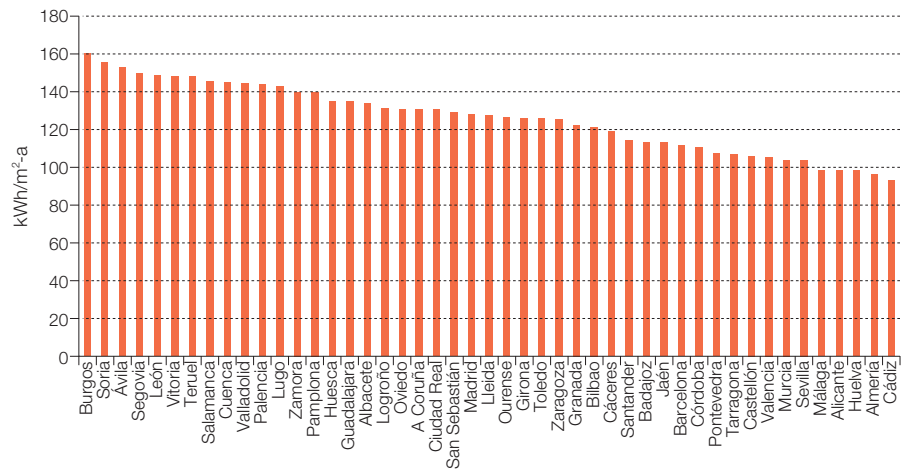
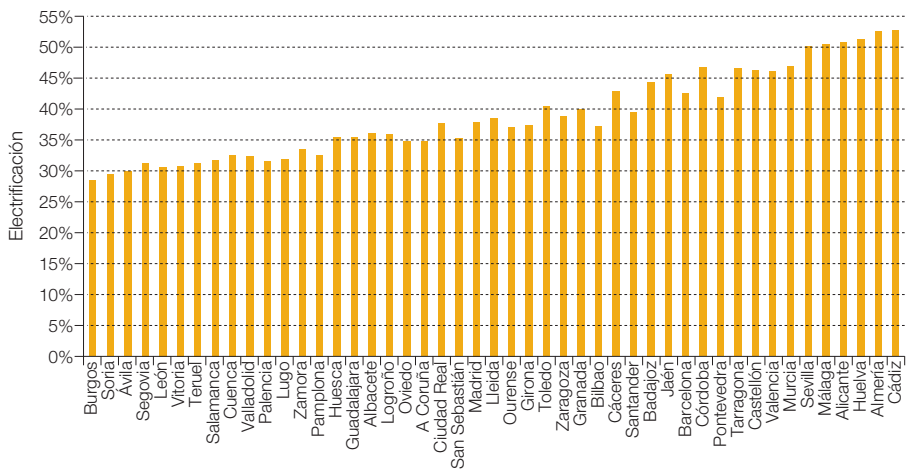


Figura 267. Electrificación en viviendas bloque parque BAU 2050.



3.7.1.13 Edificios de referencia en US

Como ya hemos mencionado anteriormente, los únicos edificios de referencia para las distintas tipologías modales que se pueden encontrar en el sector edificación, suficientemente elaborados y mantenidos que hemos localizado, son los desarrollados por el departamento de energía de los EE. UU. (DOE Benchmarks⁵⁶⁹).

Estos modelos de edificios comerciales están disponibles desde 1991, y se han ido adaptando para poder representar el parque de edificios en distintos periodos de tiempo, calibrando los resultados con la extensa información asociada a la caracterización del parque de edificios comerciales que AIE de EE. UU. actualiza cada cuatro años. Puesto que estos modelos se encuentran implementados en formatos compatibles con programas de simulación de edificios, su uso en el campo de la investigación de medidas de eficiencia en este sector se ha extendido significativamente, especialmente bajo el paraguas del

programa Net Zero Energy Commercial Building Initiative que el DOE ha lanzado con el objetivo de hacer disponibles edificios de consumo neto cero para el año 2025. Existen diversas publicaciones⁵⁷⁰ analizando las posibilidades de reducción del consumo de energía total de distintas tipologías de edificios entre un 30% y un 50%, que se basan en el uso de los DOE Benchmarks para cuantificar el efecto de distintas medidas de eficiencia, y sin duda irán surgiendo más en los próximos años. En este sentido, los DOE Benchmarks proporcionan un marco de referencia común sobre el que edificar el análisis del potencial de mejoras, y el hecho de que se encuentren implementados en el formato compatible con las herramientas de simulación de edificios más avanzadas, permite obtener mucho detalle sobre la estructura de la demanda energética de los edificios.

Por todos estos motivos, y puesto que para España no existen otros edificios de referencia disponibles, hemos optado por particularizar estos edificios de referencia para los

569 Deru, M.; Field, K.; Studer, D.; Benne, K.; Griffith, B.; Torcellini, P.; Halverson, M.; Winiarski, D.; Liu, B.; Rosenberg, M.; Huang, J.; Yazdani, M.; Crawley, D. DOE Commercial Building Research Benchmarks for Commercial Buildings. Washington, DC: U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Office of Building Technologies, versión marzo 2010.

570 (Yu Joe Huang, Jim Brodrick, 2000), (R.E. Jarnagin, B. Liu, D.W. Winiarski, M.F. McBride, L. Suhari, D. Walden, 2006), (B. Griffith, P. Torcellini, N. Long, D. Crawley, J. Ryan, 2007), (Torcellini P., Deru M., Griffith B., Benne K., Halverson M., Winiarski D., Crawley D.B., 2008), (BA Thornton, W Wang, MD Lane, MI Rosenberg, 2009), (W Jiang, K Gowri, MD Lane, BA Thornton, MI Rosenberg, 2009), (Elaine Hale, Matthew Leach, Adam Hirsch, and Paul Torcellini, 2009), (Matthew Leach, Elaine Hale, Adam Hirsch, and Paul Torcellini, 2009).

emplazamientos climáticos de España y emplearlos como base para configurar los escenarios BAU y E3.0.

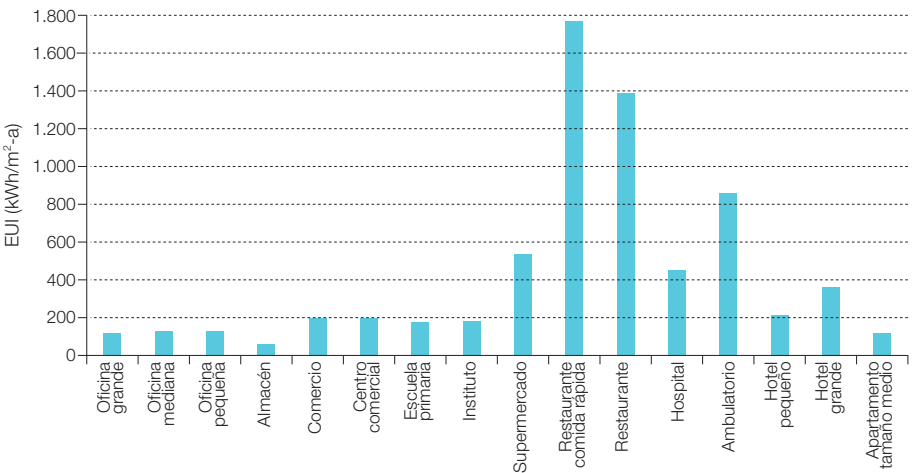
En este punto proporcionamos una información preliminar sobre estos edificios de referencia dejando más adelante la presentación de resultados correspondientes a los escenarios BAU y E3.0 obtenidos con ellos.

Los DOE Benchmarks para representar la construcción actual tienen sus parámetros ajustados con el estándar 90.1-2004 de Ashrae⁵⁷¹, lo cual afecta tanto a los niveles de prestación de los elementos de la envolvente de los edificios (aislamientos, características de ventanas, etc.), como a los requerimientos de eficiencia sobre los equipamientos implementados por los edificios (calderas, enfriadoras, ventiladores, recuperación de calor, enfriamiento gratuito, iluminación, etc.). Los tipos de sistemas de climatización implementados en cada tipo de edificio fueron elegidos según

la información recopilada en el CBECS⁵⁷² del año 2003 para representar correctamente el parque de edificios existente. Por lo que respecta al nivel de consumo de los equipamientos internos, estos tampoco se encuentran regulados por la regulación en EE. UU., por lo que el std 90.1 no estipula ninguna limitación. Sin embargo, los DOE Benchmarks sí que implementan niveles de consumo por equipamientos representativos de las condiciones actuales en las distintas tipologías de edificios. Por tanto, los consumos energéticos que se desprenden de los DOE Benchmarks corresponden al consumo total del edificio, y no tan solo a la componente regulada de dicho consumo.

Los DOE Benchmarks están constituidos por 16 modelos de tipología de edificios que cubren los principales modos dentro del sector comercial, y los edificios residenciales en bloque de pisos (que a su vez dominan el reparto modal de edificación residencial).

Figura 268. Consumo de energía final de los edificios del DOE Benchmark en el emplazamiento representativo de la zona 3A. Emplazamientos en España que caen dentro de esta zona climática son: Cádiz, Córdoba, Málaga, Sevilla, Tarragona y Cáceres.



571 El std. 90.1 de ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) es el encargado de imponer los límites regulatorios a las prestaciones energéticas de todos los edificios excepto los residenciales pequeños, complementado por otros estándares como el std 62.1 encargado de establecer los requerimientos de ventilación y el std 55 que estipula las condiciones de confort. La estructura del std 90.1 es parecida a la de la regulación actual en España (CTE + RITE), pero significativamente más exigente en varios aspectos, y más exhaustivo por lo que se refiere a los componentes sobre los que impone requerimientos de eficiencia. Este estándar se actualiza cada tres años, de tal forma que la versión actualmente vigente para la mayoría de procesos regulatorios o de certificación que se apoyan en él es la de 2007 (std 90.1-2007). Los DOE Benchmarks están ajustados a la versión anterior: std. 90.1-2004.

572 Informe que cada cuatro años actualiza la AIE de la administración de EE. UU. con una detallada caracterización de la estructura energética del sector edificación comercial.

Figura 269. Consumo de energía final de los edificios del DOE Benchmark en el emplazamiento representativo de la zona 4A. Emplazamientos en España que caen dentro de esta zona climática son: Huesca, Teruel, Oviedo, Palencia, Salamanca, Segovia, Valladolid, Cuenca, Guadalajara, Girona, Lugo, Madrid, Pamplona, Vitoria y San Sebastián.

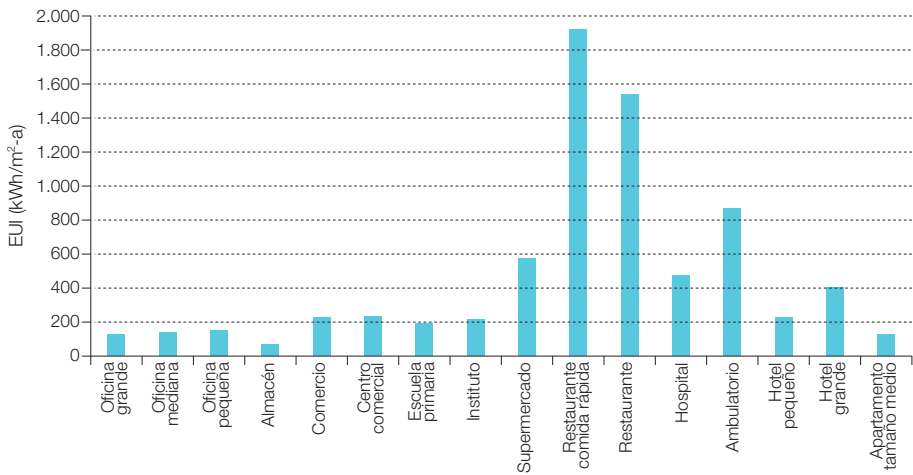
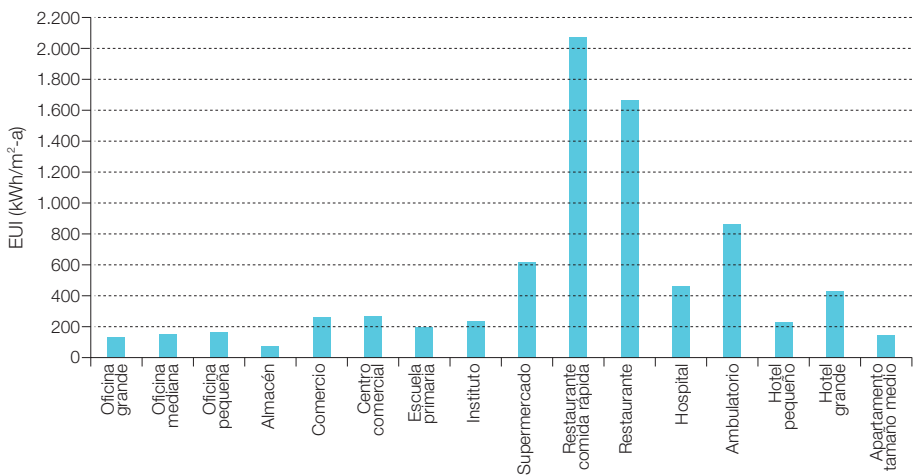


Figura 270. Consumo de energía final de los edificios del DOE Benchmark en el emplazamiento representativo de la zona 5A. Emplazamientos en España que caen dentro de esta zona climática son: Ávila, Burgos, León y Soria.



Un primer punto que resulta relevante es la diferencia de consumos específicos entre los distintos modos de edificios, tanto por lo que respecta a la cantidad de energía, como por lo relativo a la distribución estacional y diaria de este consumo. En efecto, en bien poco se parecen tipologías de edificios como el residencial, la oficina, un hospital o un restaurante, tanto por los horarios de operación, como por los niveles de cargas internas y consumos de proceso asociados a su operación. Para tener una primera cuantificación de este aspecto, en las figuras 268 a 270 presentamos los consumos en términos de energía final específica (EUI⁵⁷³) de los DOE Benchmarks en tres zonas climáticas⁵⁷⁴, presentes en la España peninsular. Más adelante, a lo largo de este informe, iremos presentando los resultados de consumo energético particularizados para las provincias españolas, así como la estructura de la demanda energética de las distintas tipologías de edificios considerados.

3.7.1.14 Comparativa edificios referencia US con parque actual y BAU en España: Caso residencial

Puesto que para el parque de edificios residenciales es el único para el que disponemos en España de algo más de información relativa a las exigencias energéticas sobre la construcción actual, y dado que esta información que se desprende del proceso de certificación energética ya la hemos procesado en un punto anterior, resulta interesante analizar cómo compara el DOE Benchmark de edificio residencial con estos resultados. En este punto desarrollamos este análisis, que conduce a una conclusión muy relevante de cara al desarrollo de los escenarios: el BAU de los edificios residenciales en España para el año 2050 queda bien representado por el DOE Benchmark actual⁵⁷⁵.

Para que los resultados de consumo de los edificios que se desprenden por un lado del análisis de la certificación energética de edificios residenciales nuevos, y por otro lado de los DOE Benchmarks sean comparables, dicha comparación la realizaremos por un lado en términos de energía final (sin descontar aporte solar térmico⁵⁷⁶ al que fuerza el CTE), y por otro lado en términos de energía primaria⁵⁷⁷ (para reflejar el efecto del grado electrificación), y con elementos de consumo no regulados⁵⁷⁸ del mismo orden.

También es de destacar el hecho de que en el caso de los DOE Benchmarks, en todos los emplazamientos climáticos de España aparece demanda de refrigeración en verano, mientras que en la calificación energética muchas provincias no presentan demanda de refrigeración. Esto es debido a un elemento artificial introducido por la calificación energética⁵⁷⁹ de edificios residenciales en España, mediante el cual se presupone que el edificio no requiere refrigeración⁵⁸⁰ en las partes centrales del día, y se implementa una refrigeración por ventilación nocturna que por “arte de magia”⁵⁸¹ actúa durante las noches de verano proporcionando valores de renovación del aire elevados⁵⁸². Esta situación conduce a que en la práctica de la operación real de los edificios, las condiciones de confort en temporada de refrigeración que proporciona el edificio, operado según la calificación energética, son inferiores a las que otorga el DOE Benchmark. En el caso de que ambas condiciones de confort fueran parecidas, el consumo energético de los edificios según la calificación energética resultaría superior.

En las figuras 271 a 273 presentamos la comparativa de resultados a nivel provincial entre el BAU 2050 que dedujimos de la estructura del proceso de calificación energética de edificios residenciales nuevos en España, y el

⁵⁷³ EUI: Energy use intensity

⁵⁷⁴ Zonas correspondientes a la zonificación climática de ASHRAE.

⁵⁷⁵ Es importante resaltar el hecho de que el BAU es para el año 2050 y representa a la media del parque de edificios existentes en ese año, muchos de los cuales serán los que actualmente se están construyendo, mientras que el DOE Benchmark actual, refleja los requerimientos de la regulación de EE. UU. para el año 2004 (std 90.1-2004), que al ser una regulación más exigente que la actualmente implementada en España refleja un estándar de construcción mejor que el que ahora estamos desarrollando en nuestro país.

⁵⁷⁶ Este es un aspecto en que el CTE resulta más exigente que el std 90.1-2004, pues el CTE sí que obliga a la cobertura de parte de la demanda de ACS con energía solar térmica, mientras que el std 90.1 no tiene ninguna exigencia a este respecto. Sin embargo, puesto que por ahora estamos interesados en las demandas energéticas de los edificios, no incluimos este aspecto en la comparativa. Más adelante ya indicaremos la aproximación empleada en relación al efecto de la energía solar térmica para el desarrollo de los escenarios.

⁵⁷⁷ Para la comparación en términos de energía primaria, emplearemos parámetros comunes de conversión de energía final a primaria representativos de la situación actual en España, y por tanto distintos a los empleados en la certificación energética de edificios que emplea unos coeficientes de emisiones para la electricidad de la red muy superiores a los reales del sistema eléctrico (649 g CO₂/kWh_e frente a 270 g CO₂/kWh_e). Por este motivo, los resultados en términos de energía primaria aquí presentados no se corresponden con los asociados al capítulo dedicado al análisis de la certificación energética en España, donde se emplearon los factores de conversión relativos a dicha certificación para reflejar los niveles de emisiones realmente permitidos.

⁵⁷⁸ Tanto la iluminación como los equipamientos no se encuentran regulados por el CTE para los edificios residenciales (por lo que respecta a la iluminación, el CTE contiene la HE3 dedicada a la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación, pero se excluye explícitamente de su ámbito de aplicación a

DOE Benchmark para edificio residencial, en términos de energía final, energía primaria y electrificación.

Figura 271. Comparativa de consumo de energía final total entre el BAU 2050 deducido del análisis del proceso de calificación energética y el DOE Benchmark (bloque de pisos).

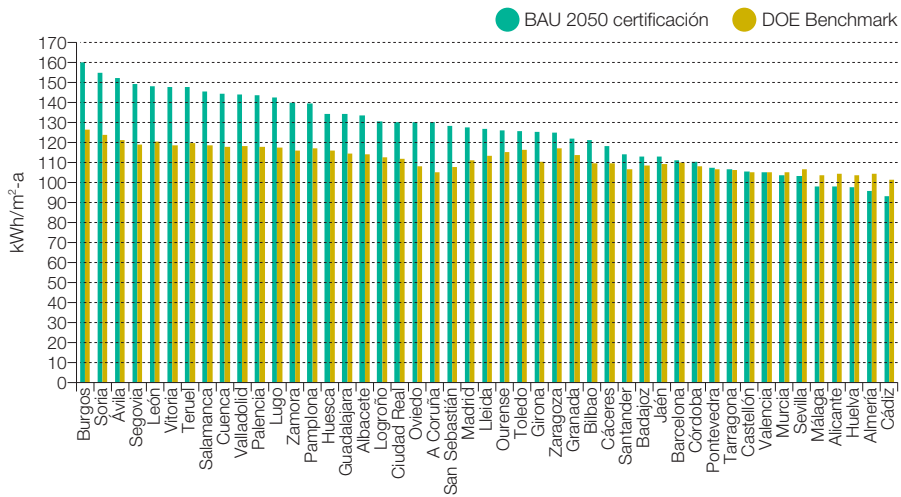
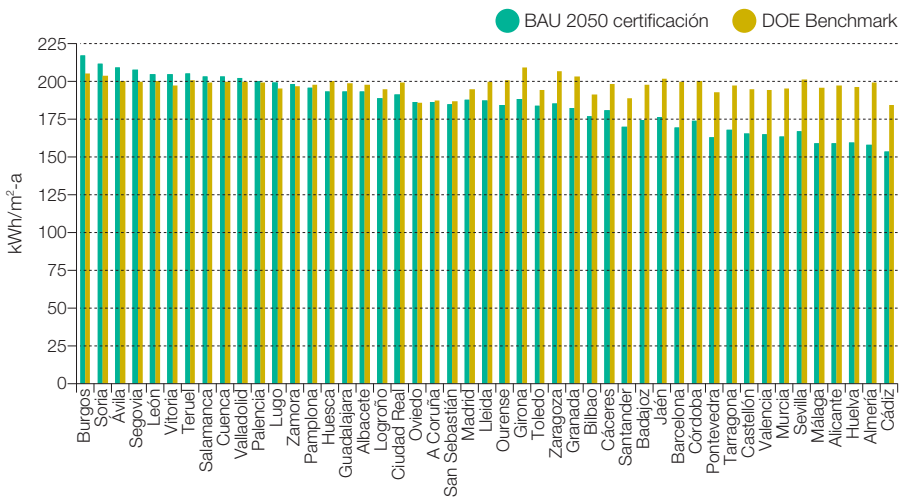


Figura 272. Comparativa de consumo de energía primaria total entre el BAU 2050 deducido del análisis del proceso de calificación energética y el DOE Benchmark (bloque de pisos).



los edificios residenciales, y en consecuencia la calificación energética de estos edificios no contempla el consumo de iluminación). Los equipamientos tampoco están regulados por el std 90.1. Por lo que respecta a la demanda de ACS tampoco se encuentra directamente regulada por ninguno de las dos regulaciones por lo que respecta a su nivel de demanda energética (si bien el CTE incluye la HE4 relativa a la contribución solar mínima de ACS). Por tanto, el valor total de estos consumos no regulados se ha introducido del mismo orden para los dos casos.

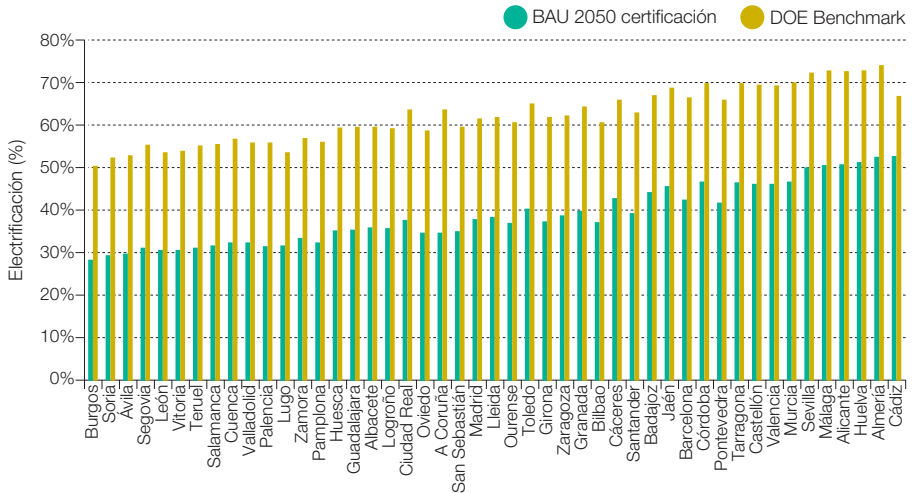
579 Y también por la regulación prestacional (herramienta LIDER).

580 Se elimina la consigna de refrigeración de 7h a 16 h. Adicionalmente la calificación energética solo considera la demanda de refrigeración de junio a septiembre. Es de resaltar que en un contexto donde las viviendas deban ser vivideras las 24 horas del día, situación que ya se presentaba de forma tradicional en que algunos miembros de las unidades familiares pasan mucho más tiempo dentro de la vivienda que otros, y que cabe esperar se acentúe el contexto E3.0 con el desarrollo del teletrabajo y la tele-educación.

581 La expresión "por arte de magia" quiere señalar el hecho de que para que realmente existiera esa refrigeración por ventilación nocturna, manteniendo exactamente la renovación del aire especificada, y actuando tan solo en esos momentos en los que fuera beneficiosa, sería preciso implementar controles inteligentes y disponer de medios mecánicos de ventilación, lo cual dista mucho de la realidad de la operación de los edificios residenciales por la noche.

582 En concreto proporciona ACH = 4 h⁻¹ (donde ACH ("air changes per hour") son las renovaciones horarias del aire dentro del edificio, es decir, el número de veces que durante una hora se renueva el aire contenido dentro del edificio), del orden de ocho veces las que existen fuera de estos horarios.

Figura 273. Comparativa de la electrificación entre el BAU 2050 deducido del análisis del proceso de calificación energética y el DOE Benchmark (bloque de pisos).



La primera observación que podemos realizar sobre estos resultados, empezando por centrar la atención en la comparativa en términos de energía final, es la mayor regularidad geográfica de la demanda del DOE Benchmark que la que se desprende del análisis basado en la calificación y regulación energética en España, donde a los climas de mayor severidad de invierno se les permite un consumo considerablemente superior. Para la variedad climática presente en España sería perfectamente lícito el imponer un límite constante en consumo total para todos los emplazamientos climáticos, lo cual a su vez contribuiría a la claridad y estaría mucho más orientado a objetivos que la situación actual, además de ser más coherente con los requerimientos constructivos en cada zona climática⁵⁸³.

La siguiente observación es la relativa a los valores inferiores de consumo del DOE Benchmark (aplicación de la regulación en EE.UU. para el año 2004: std 90.1-2004) que los deducidos del análisis de la calificación

energética en España, y eso a pesar de que en la evaluación energética de los edificios, según la calificación energética de España, no se internaliza toda la demanda de frío⁵⁸⁴, y que asumimos que el BAU podía representarse por el punto medio de la calificación C⁵⁸⁵: A igualdad condiciones de uso y confort en los edificios, todavía sería mayor la diferencia. En estas condiciones puede parecer optimista el asimilar el BAU residencial a los valores del DOE Benchmark, pero si tenemos en cuenta la regularización que se experimenta al analizar los resultados en términos de energía primaria⁵⁸⁶, consecuencia de la mayor electrificación de los DOE Benchmark, y siendo la mayor electrificación una tendencia que cabe esperar se desarrolle tanto en los contextos BAU como E3.0, y tanto para edificios nuevos como existentes, consideramos que el DOE Benchmark describe bien lo que podríamos considerar un BAU en España para representar al conjunto del parque de edificios existente en 2050. Por extensión de estos resultados, y dada la ausencia de

⁵⁸³ Equilibrio entre calefacción y refrigeración, uso eficiente de materiales, etc.
⁵⁸⁴ No refrigeración en zona central día y ventilación nocturna muy cuestionable sin elementos adicionales de inteligencia de cuatro ACH en las noches de verano.
⁵⁸⁵ Cuando la mayoría de los edificios construidos según el CTE caen dentro de la calificación D, y el BAU debe representar al conjunto del parque de edificios en 2050, cuando todavía quedará una fracción importante de edificios construida antes que el CTE.
⁵⁸⁶ Esta regularización es para las condiciones actuales del sistema energético en España. En un contexto de renovables 100% con smart grid (bajas pérdidas T&D), el rendimiento efectivo del sistema eléctrico sería próximo al 100%, por lo que las distribuciones de consumo en términos de energía final y de primaria serían muy parecidas a la distribución de consumos de energía final presentada en la figura anterior.

otra información referente a la caracterización energética de los edificios comerciales en España, damos también como válidos los DOE

Benchmark para representar el BAU del parque de los edificios no residenciales en España para el año 2050.

Figura 274. Comparativa de consumo de energía final total entre la media de los edificios construidos según CTE y el DOE Benchmark (bloque de pisos).

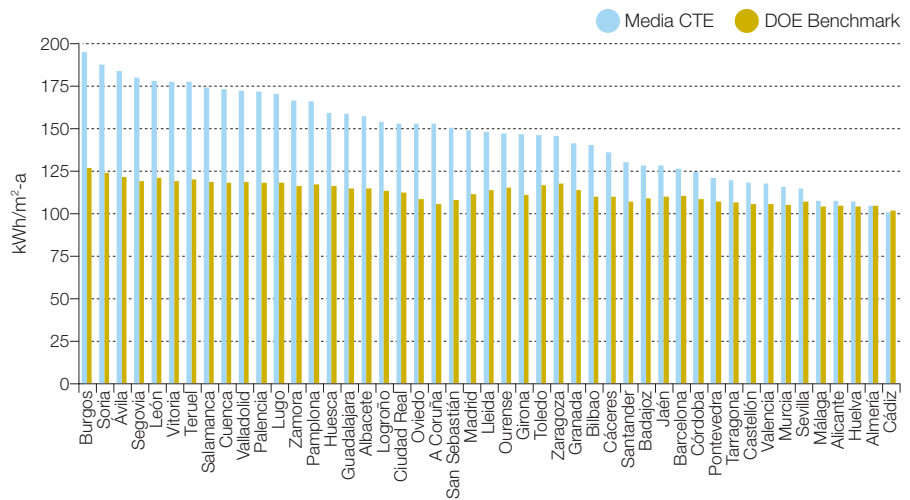
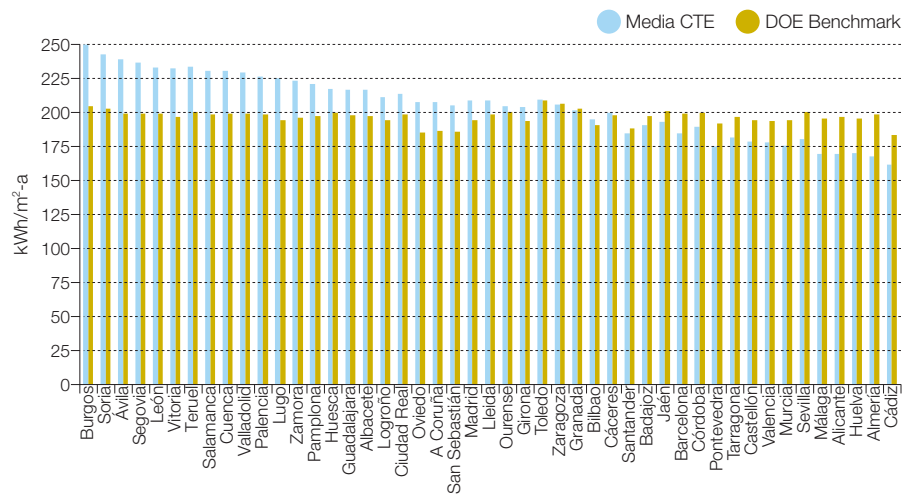


Figura 275. Comparativa de consumo de energía primaria total entre la media de los edificios construidos según CTE y el DOE Benchmark (bloque de pisos).



Si en lugar de comparar con la primera aproximación del BAU 2050 desarrollada en el capítulo de análisis de la calificación energética, comparamos el DOE Benchmark con la media⁵⁸⁷ de los edificios actualmente cons-

truidos cumpliendo el CTE, obtenemos los resultados en términos de energía final y energía primaria recogidos en las figuras

Figura 276. Comparativa de electrificación entre la media de los edificios construidos según CTE y el DOE Benchmark (bloque de pisos).

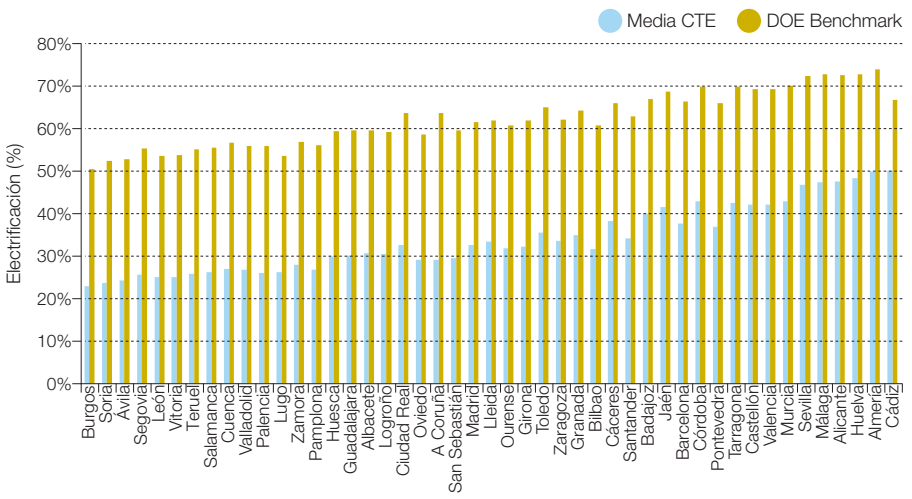
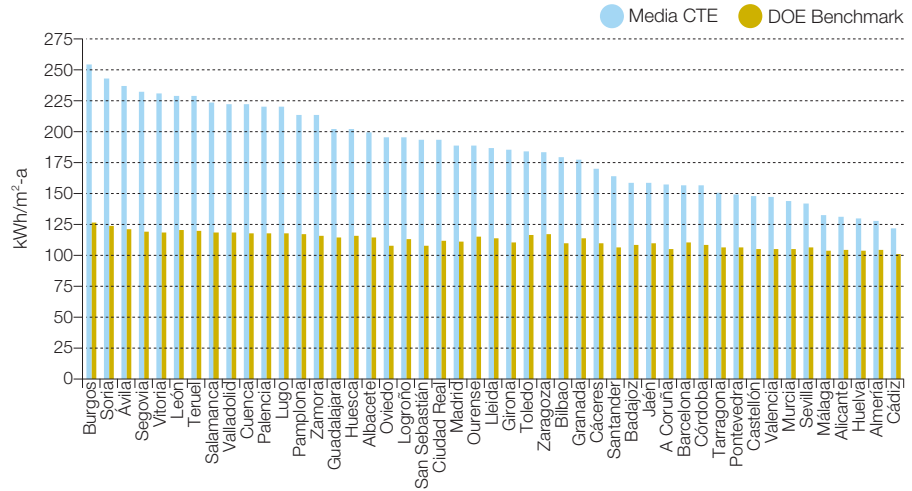


Figura 277. Comparativa de consumo de energía final total entre la media de los edificios construidos según CTE (vivienda unifamiliar) y el DOE Benchmark.



587 Más concretamente el percentil 50º de la muestra de edificios analizados (todos ellos cumpliendo estrictamente el CTE) de cara al desarrollo de la escala de calificación energética.

274 a 276, donde podemos confirmar las conclusiones anteriormente extraídas en relación a la exigencia de la regulación en España y EE. UU.

Pero en el caso de los edificios unifamiliares, el CTE todavía permite mayores consumos energéticos. Las figuras 277 y 278 nos muestran la comparativa entre el DOE Benchmark

Figura 278. Comparativa de consumo de energía primaria total entre la media de los edificios construidos según CTE (vivienda unifamiliar) y el DOE Benchmark.

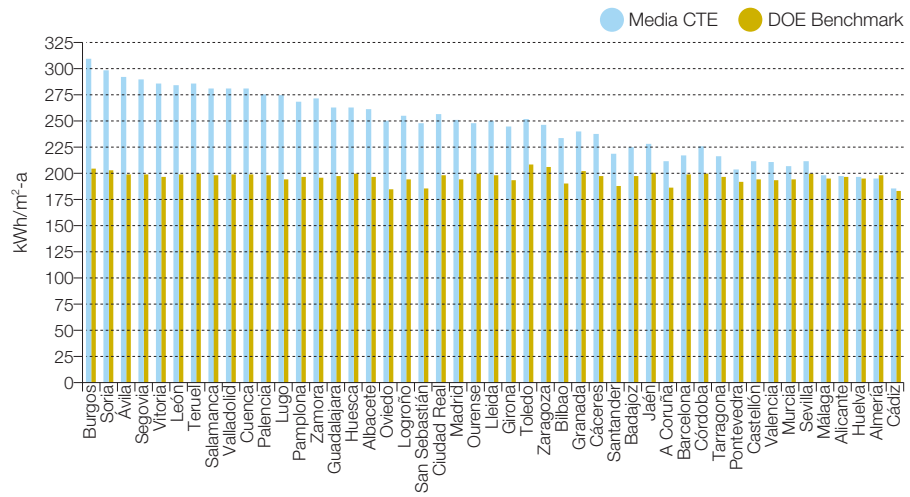
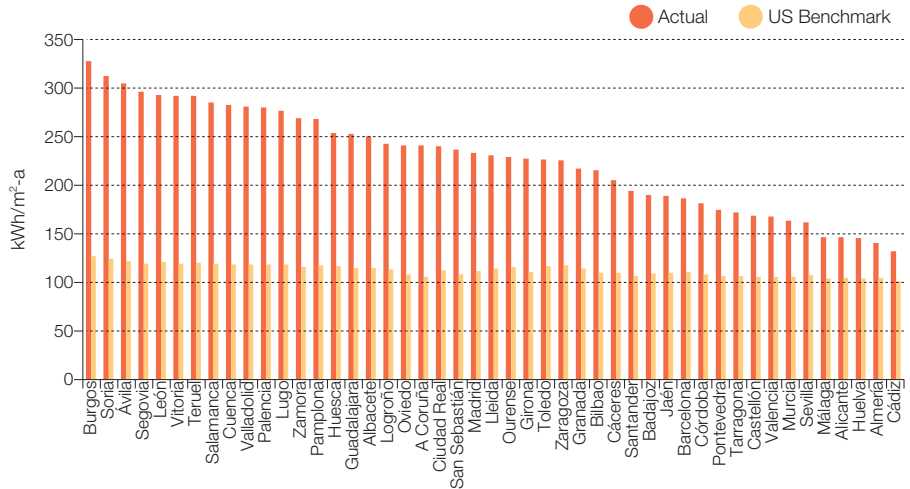


Figura 279. Comparativa de consumo de energía final total entre la caracterización del parque actual de edificios en España y el DOE Benchmark (bloque de pisos).



y la media de los edificios unifamiliares cons-
truidos cumpliendo rigurosamente el CTE.

Por último, presentamos la comparación
entre el DOE Benchmark y la caracterización

que desarrollamos anteriormente del estado
actual del parque de edificios residencial. Las
figuras 279 a 281 nos muestran la compara-
tiva en términos de energía final y primaria.
Como podemos observar, el DOE Benchmark,

Figura 280. Comparativa de consumo de energía primaria total entre la caracterización del parque actual de edificios en España y el DOE Benchmark (bloque de pisos).

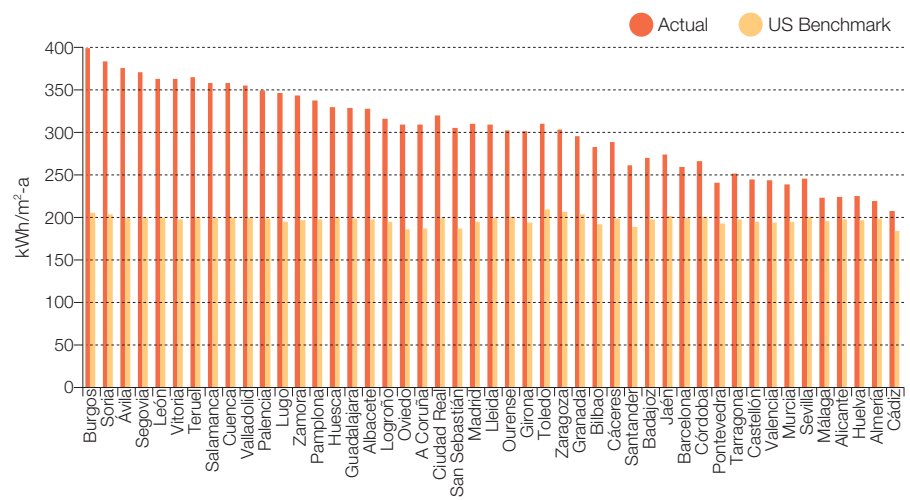
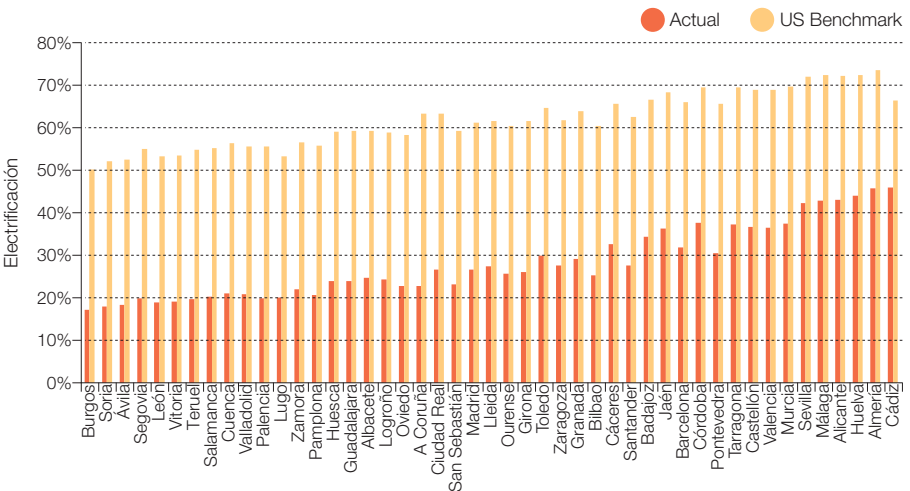


Figura 281. Comparativa de electrificación entre la caracterización del parque actual de edificios en España y el DOE Benchmark (bloque de pisos).



asumido como BAU 2050 para este estudio, representa una gran mejora de las prestaciones energéticas del parque de edificios existente.

3.7.2 Planteamiento del desarrollo de escenarios para el sector edificación

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

- Desarrollo de un escenario de superficie edificada, residencial y terciaria, a nivel provincial, que consideraremos común para los contextos BAU y E3.0.
- Desarrollo de un reparto modal entre las distintas tipologías de edificios, a nivel provincial, que también consideraremos común en los contextos BAU y E3.0.
- Desarrollo de un modelo de edificio para representar cada tipología del reparto modal asumido.
- Establecimiento de condiciones BAU y E3.0 para los niveles de eficiencia en cada una de las tipologías de edificio considerada.
- Simulación del modelo de cada tipología de edificio, en condiciones BAU y E3.0 de eficiencia, para cada una de las provincias⁵⁸⁸ peninsulares.

Según estos resultados se genera tanto la demanda modal y agregada anual del sector edificación, como su distribución estacional y horaria.

En el caso del modo de edificio residencial unifamiliar, y dadas las limitaciones de tiempo asociadas al alcance de este trabajo, se han realizado estudios paramétricos para definir

valores óptimos a nivel provincial de distintos parámetros tecnológicos que posteriormente se han extrapolado al resto de las tipologías de edificios.

Por lo que respecta al escenario BAU, como hemos mencionado en el punto anterior, hemos adoptado como representativo de la media del parque de edificios las condiciones de exigencia de la normativa de EE. UU. para el año 2004 (std 90.1-2004).

En el caso del escenario E3.0 se han introducido mejoras tecnológicas de los distintos componentes de demanda energética en línea con la evolución tecnológica prevista, y siempre con un enfoque conservador originado, por un lado, por el planteamiento de intentar acotar el alcance de las mejoras a lo que hoy podemos considerar como tecnológicamente alcanzable, y por el otro lado, por la limitación tanto de tiempo⁵⁸⁹ como de capacidad de modelado de la herramienta de simulación empleada para implementar distintas medidas de eficiencia. Por tanto, podemos afirmar que el potencial de ahorro que muestra el escenario E3.0 aquí desarrollado es conservador, y que con una buena práctica de la ingeniería bioclimática y de sostenibilidad aplicada al desarrollo de cada uno de los nuevos edificios que desarrollaremos a partir de ahora, 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.

Con todo, es de resaltar que 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, mientras que la mayoría de estudios publicados hasta la fecha, con un enfoque que parecido al nuestro pero con horizontes

⁵⁸⁸ Puesto que la tendencia demográfica principal es a la urbanización, hemos considerado las capitales de provincia como emplazamientos representativos de la mayoría de la superficie edificada en cada provincia.

⁵⁸⁹ En este sentido podemos apuntar, por ejemplo, que se ha invertido un esfuerzo relativamente limitado para llevar las medidas pasivas a nivel de edificio hasta sus límites potenciales, dado el mayor esfuerzo de modelado que ello requiere y la gran cantidad de simulaciones a realizar. De igual modo, y tanto por representar de forma conservadora el conjunto del parque de edificios, como por limitaciones en el tiempo de modelado, no se ha asumido el despliegue, a gran escala, de planteamientos de urbanismo bioclimático que optimizaran la tipología y la orientación de los edificios en los distintos emplazamientos climáticos, mediante una ordenación de territorio y planificación urbanística con criterios de eficiencia energética (debe tenerse en cuenta además que las planificaciones urbanísticas actualmente vigentes, junto a las planificaciones del pasado, condicionarán gran parte de la edificación que formará el parque de edificios en el año 2050).

temporales más cercanos, muestran la viabilidad de alcanzar niveles de ahorro del 30% o el 50%.

Sin duda, de cara al año 2050 es posible alcanzar niveles de ahorro superiores al 80% aquí planteado, pero 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%.

En este sentido, resulta interesante apuntar que los contextos en los que se mencionan planteamientos que inducen a pensar en la posibilidad de un ahorro del orden del 100%, difieren significativamente del contexto en el que nosotros hablamos de un ahorro del 80%. En efecto, o bien se trata de ahorros sobre tan solo algunas de las componentes de la demanda (parte de la demanda regulada) que siempre excluyen la demanda de equipamientos, o bien se trata del concepto de consumo *neto* cero, en el cual se contabiliza como consumo negativo la generación local con energías renovables. Si en cualquiera de estos dos casos nos limitáramos al consumo de energía, e incorporáramos todas las componentes de consumo, veríamos que los niveles de eficiencia implícitos son considerablemente inferiores al 100%.

En nuestro caso, en el contexto E3.0, el excedente de demanda de los edificios (ese 20%) es cubierto al 100% con energías renovables, pero sin la limitación artificial de pretender cubrir ese consumo con generación local. Sin duda, que dados los bajos niveles de consumo residual sería posible cubrirlo con

generación renovable local, pero en la mayoría de las ocasiones esta opción resultará menos eficiente desde el punto de vista de uso de recursos y del conjunto del sistema energético, que una solución basada en la integración del sistema energético mediante una red inteligente que abre la puerta a la participación de la gestión de la demanda a todos los elementos del sistema energético.

3.7.3 Escenario superficie edificios

Como hemos comentado más arriba, los escenarios de superficie de edificios se van a considerar idénticos⁵⁹⁰ en los contextos BAU y E3.0.

En la bibliografía se encuentran distintas correlaciones entre el área de edificación residencial y el PIB, sin embargo ninguna parece ajustarse a la tendencia que en principio podríamos esperar que se desarrollase en España de cara al futuro. En la figura 282 mostramos tres correlaciones de este estilo. La correlación-1 es la correspondiente a (Morna Isaac, Detlef P. van Vuuren, 2009), la correlación-2 es la presentada en (F. Rong, L. Clarke, S. Smith, 2007), y la correlación-3 es la que proponemos nosotros para España. Por tanto, de acuerdo con el escenario de evolución del PIB, para el año 2050 podríamos esperar un área útil de edificación residencial de 65 m²/p. La figura 283 nos proporciona la evolución del área de edificios residenciales al emplear esta correlación junto con los escenarios de población y de PIB anteriormente desarrollados. Es de resaltar que con el escenario poblacional adoptado, el máximo del área útil de edificios residenciales se obtiene al final del escenario.

Con la distribución provincial asumida para la población, en el año 2050 tendríamos el

590 Esta hipótesis conservadora va en línea con el planteamiento general de considerar para los contextos BAU y E3.0 la misma demanda de servicios. Evidentemente podría plantearse como medida adicional para el contexto E3.0 la reducción de la superficie del parque de edificios, lo cual podría alcanzarse tanto por una reducción de la superficie empleada per cápita, como por la combinación de funciones de los edificios que facilitan el despliegue de inteligencia por los sistemas técnico, social y económico (por ejemplo la reducción de superficie de oficinas al poder desarrollar la labor profesional mayoritariamente desde la vivienda mediante planteamientos de teletrabajo), en cuyo caso los consumos energéticos del contexto E3.0 serían inferiores a los planteados en este estudio. Pero puesto que estos cambios requieren en gran medida cambios de actitud de la gente, de forma conservadora hemos preferido excluirlas del alcance del contexto E3.0 aquí planteado, y evitar así que se genere la incertidumbre de cuánto del potencial de eficiencia mostrado lleva implícito un cambio de actitud fundamental sobre el que podemos tener poca certeza. Sin embargo, estos cambios de actitud facilitarían tremendamente la transición hacia un contexto E3.0.

reparto provincial del área útil de edificación residencial que mostramos en la figura 284. La superficie construida total del parque residencial en 2050 ascenderá, según este escenario a 3.894 km², lo que representa una tasa media de crecimiento desde el año 2010 del 0,8%/a.

Por lo que respecta a los edificios comerciales, en (F. Rong, L. Clarke, S. Smith, 2007) encontramos un escenario de evolución del ratio entre edificios comerciales y residenciales, que para EE. UU. se sitúa en torno al 32% para el año 2050.

Figura 282. Distintas correlaciones entre el área útil de edificación residencial y el PIB.

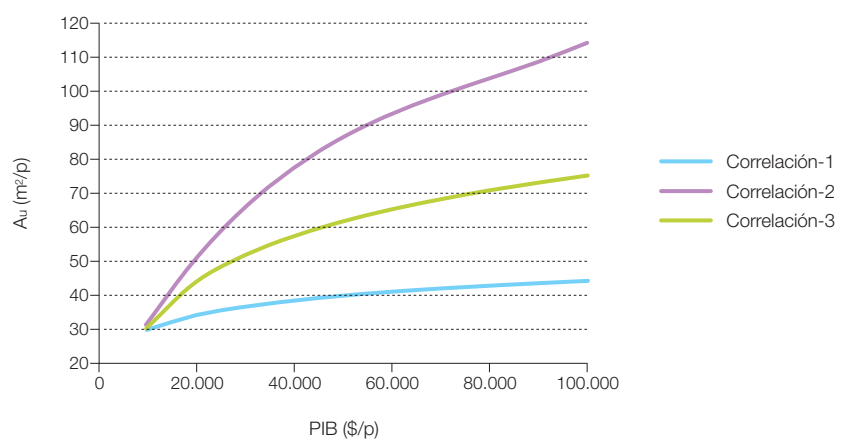


Figura 283. Evolución del área útil del parque de edificios residencial asociada a la correlación entre área útil per cápita y PIB, y los escenarios de población y PIB adoptados en este informe.

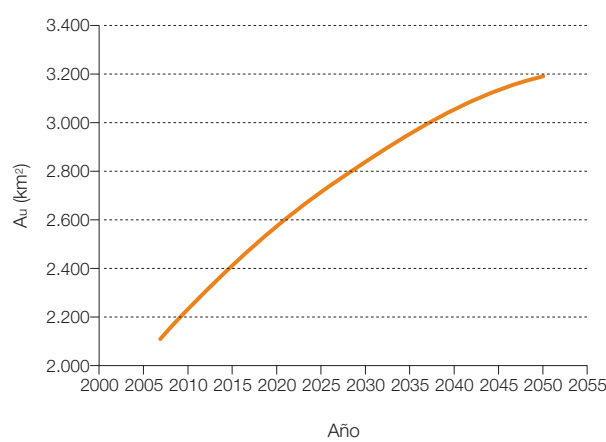
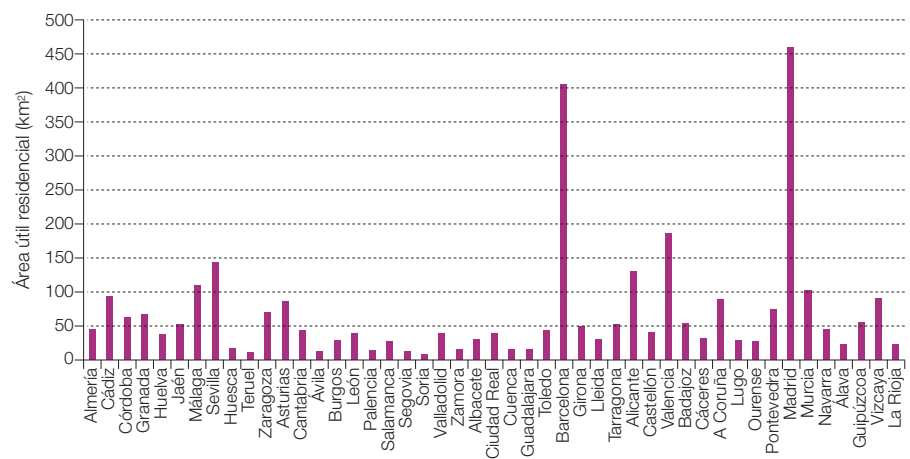


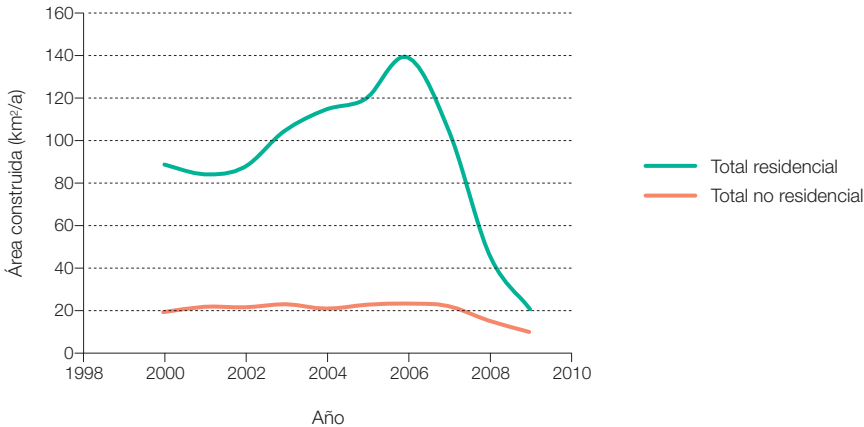
Figura 284. Reparto provincial de la superficie útil del parque de edificios residencial para el año 2050.



Recopilando la información histórica disponible en el Ministerio de Fomento sobre los visados de dirección de obra de los colegios de arquitectos técnicos (serie disponible 2000-2009) obtenemos la evolución mostrada en la figura 285, donde podemos apreciar el mayor

peso de la crisis del sector de la construcción sobre el sector residencial. El ratio de edificio terciario/residencial correspondiente a esta serie es el que podemos observar en la figura 286, donde podemos apreciar que debido a la crisis del sector construcción este ratio se

Figura 285. Evolución de las tasas de construcción en los sectores residencial y terciario según los datos del Ministerio de Fomento relativos a los visados de dirección de obra de los colegios de arquitectos técnicos.



ha disparado en los últimos años a valores muy superiores a los anteriores al la crisis, por lo que los ratios actuales no los podemos considerar como representativos, y de hecho parece que en España el ratio tendencial que cabría esperar al volver a la “normalidad”⁵⁹¹ de este sector, podría situarse significativamente por debajo del 32% proyectado para el año 2050 en los EE. UU.

Repitiendo este ejercicio con los datos correspondientes a las distintas CCAA y recopilando los valores del ratio entre las áreas construidas de edificación terciaria y residencial en las condiciones precrisis, obtenemos los resultados de la figura 287, en la que también mostramos los resultados del procesado histórico de la superficie acumulada de edificios hasta el año 2003 desarrollado en (GP, R2050, 2005). Según vemos en esta figura, los datos de la serie de construcción de los últimos diez años, antes del inicio de la crisis, parece estar decantada hacia un exceso de construcción residencial que no representa las condiciones del parque de total de edificios,

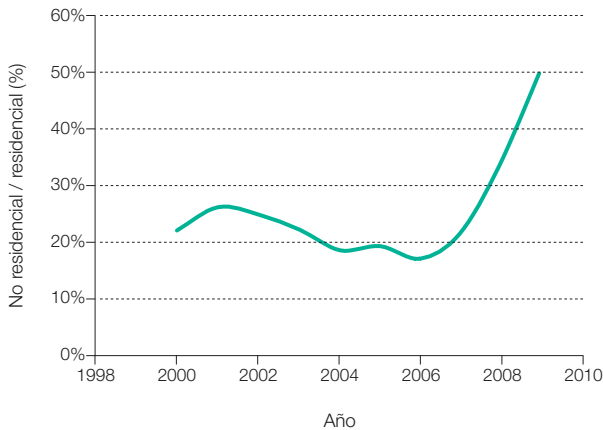
y la tasa terciario/residencial del total del parque construido en el año 2003 se sitúa más cerca de ese valor del 32% del escenario de EE. UU. para el año 2050, aunque se aprecia una cierta discriminación por CCAA.

Extendiendo el procesado realizado en (GP, R2050, 2005) a nivel de CCAA para incorporar los datos de construcción en los últimos años, obtenemos la evolución por CCAA del ratio de superficie terciaria a residencial recogido en la figura 288.

Proyectando estos ratios hacia el año 2050, teniendo en cuenta una estabilización poscrisis y una cierta convergencia entre el modelo de urbanización en las capitales de las distintas provincias, obtenemos los resultados finalmente adoptados para el año 2050 que presentamos en la figura 289.

Según estos resultados, el área útil del parque de edificios terciarios en el año 2050 asciende a 1027 km², con un crecimiento medio desde el año 2010 del 1,1%/a, mientras que para el

Figura 286. Evolución del ratio de superficie terciaria a residencial según los datos del Ministerio de Fomento relativos a los visados de dirección de obra de los colegios de arquitectos técnicos.



591 Sin embargo, es preciso tener presente que la situación de los últimos años, previos al desencadenamiento de la crisis inmobiliaria, no la podemos considerar ni mucho menos normal.

Figura 287. Ratio de superficie construida terciaria a residencial representativo de las condiciones precrisis según los datos del Ministerio de Fomento relativos a los visados de dirección de obra de los colegios de arquitectos técnicos (construcción 2000-2009) y acumulado procesado en (GP, R2050, 2006) para el año 2003.

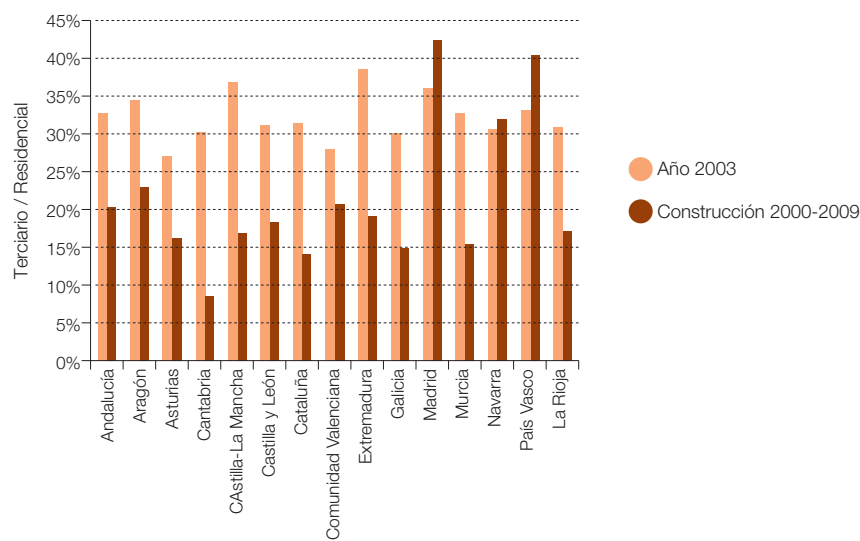
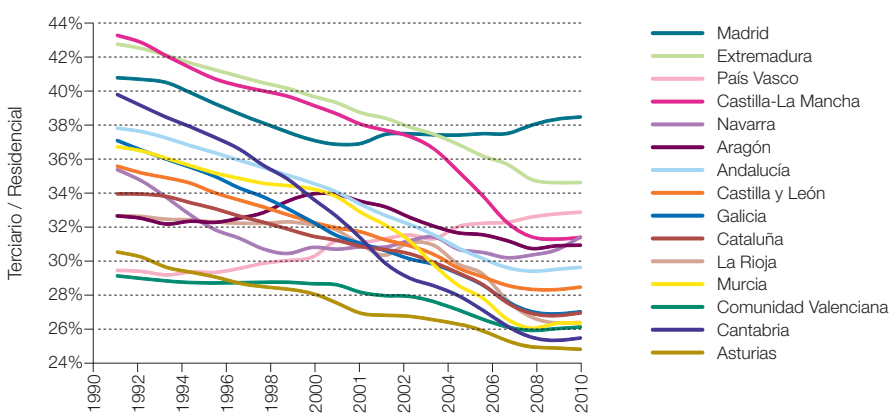


Figura 288. Evolución del ratio de superficie acumulada terciario a residencial.



sector residencial el área total útil en el año 2050 asciende a 3.192 km² con un crecimiento medio desde el año 2010 del 0,8%/a⁵⁹². La figura 290 recoge la distribución

provincial de área útil de edificios terciarios del parque de edificios en el año 2050 para complementar la anteriormente presentada del sector residencial.

Figura 289. Ratio de la construcción acumulada terciaria a la residencial para el año 2050.

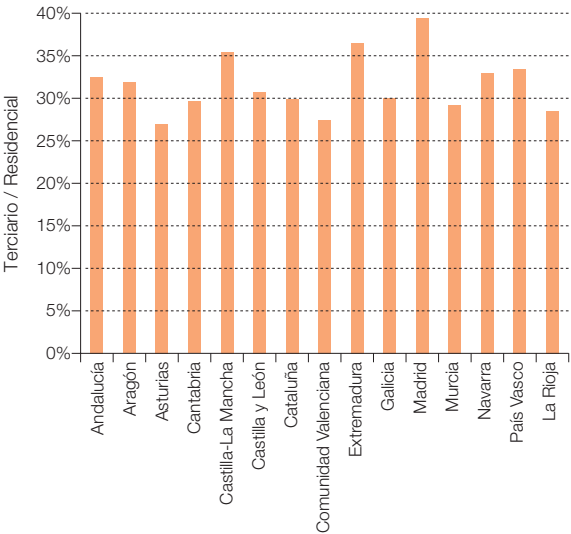
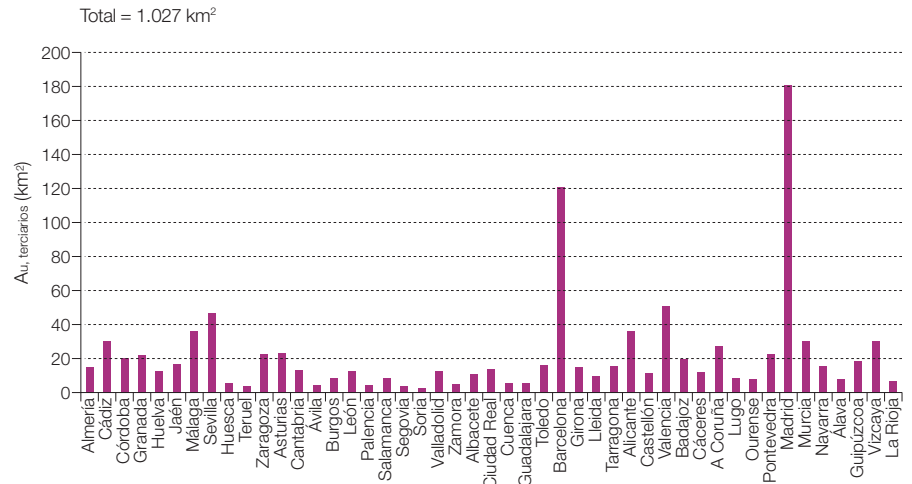


Figura 290. Distribución provincial del área útil del parque de edificios terciarios en el año 2050.



592 Como referencia, los crecimientos anuales medios en el periodo 1991-2010 fueron del 3,8%/a y 2,2%/a para los sectores residencial y terciario respectivamente.

El desarrollo de este parque final de edificios desde el instante actual puede seguir diversas trayectorias, pero de acuerdo con la situación vivida en el sector construcción

durante los últimos años, cabe esperar que estas trayectorias se asemejen a lo reproducido en las figuras 291 y 292, en las que la serie 1991-2010 corresponde a los datos históricos.

Figura 291. Escenario de evolución de la superficie construida del parque de edificios residencial. La serie 1991-2010 son valores históricos.

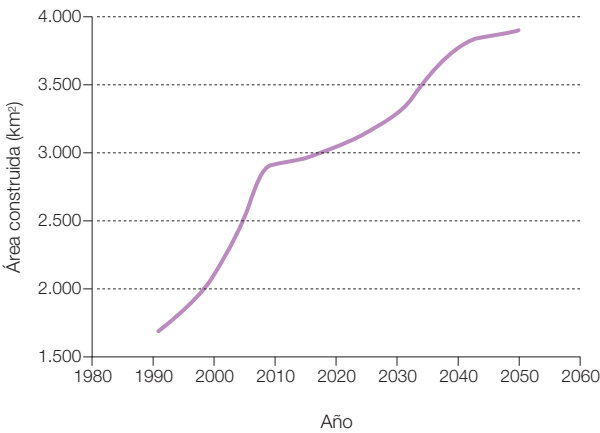
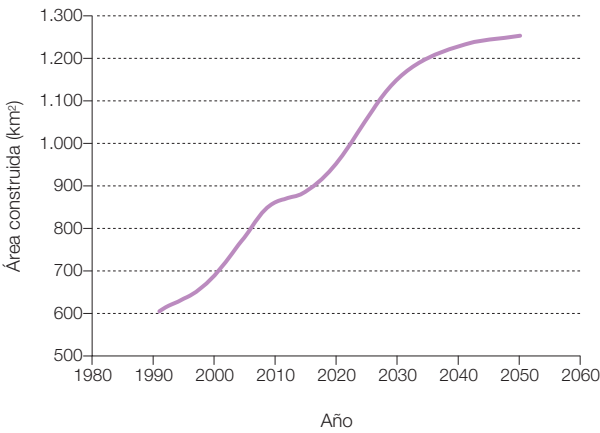


Figura 292. Escenario de evolución de la superficie construida del parque de edificios terciario. La serie 1991-2010 son valores históricos.



3.7.4 Tipologías edificios consideradas

De cara a describir el parque de edificios y su evolución, es preciso apoyarse en una serie de tipologías de edificios que representen correctamente la distribución modal del parque.

Cuantas más tipologías se recojan, mayor es el detalle y la precisión potencial a obtener con la caracterización del parque, pero es necesario buscar un compromiso entre el número de tipologías empleadas, el tiempo de cálculo requerido para simular los modelos de las distintas tipologías en los emplazamientos climáticos, y la cantidad de información disponible para caracterizar el reparto modal.

En nuestro caso, el nivel de caracterización del reparto modal del parque actual de edificios es extremadamente pobre, por lo que se refiere a los edificios no residenciales. Por tanto carece de sentido introducir un detalle excesivo en la tipología de edificios a emplear.

Sin embargo, hemos realizado un esfuerzo para retener las distintas características operativas del parque de edificios, tanto por lo que se refiere a horarios de operación, como por lo que se refiere a dotaciones de equipamientos empleadas en las distintas tipologías de edificios, motivo por el que hemos optado por introducir más tipologías de edificios de las que corresponderían al alcance de este estudio.

Por lo que se refiere a la discretización espacial, como ya hemos comentado anteriormente, el nivel de resolución empleado es el provincial, empleando los años meteorológicos tipo de las 47 capitales de provincia peninsulares para caracterizar los efectos de dispersión climática.

3.7.4.1 Tipologías seleccionadas para escenarios

Se han seleccionado las siguientes tipologías de edificios para caracterizar los parques de edificios BAU y E3.0:

- Sector residencial:
 1. Bloque de viviendas.
 2. Unidad de 3 viviendas adosadas.
- Sector terciario⁵⁹³:
 1. Oficina.
 2. Comercio.
 3. Supermercado.
 4. Centro educación.
 5. Hospital.
 6. Restaurante.
 7. Hotel.
 8. Almacén.

En capítulos anteriores hemos presentado la caracterización geométrica de estas tipologías de edificios.

3.7.4.2 Escenarios reparto modal

Por lo que se refiere al reparto modal de las tipologías de edificios, en el caso de los edificios de viviendas se encuentra bastante caracterizada por los datos disponibles en el INE y el Ministerio de Fomento. Sin embargo, por lo que se refiere a los edificios comerciales, la caracterización existente en España, a fechas de redacción de este informe, es más pobre y dispersa, por lo que el reparto modal propuesto tiene menor precisión.

En este contexto, vamos a desarrollar a partir de la información disponible y una serie de hipótesis adicionales una estimación del reparto modal actual, y adoptar la hipótesis adicional de que este reparto modal resulta

⁵⁹³ El sector de los edificios terciarios es lo que en otras referencias se denominan como edificios comerciales. Nosotros consideraremos estos dos términos como sinónimos, si bien por lo general nos referiremos a ellos como edificios terciarios por hacer explícito el hecho de que los modos de edificio que en nuestro país son mayoritariamente públicos (escuelas, hospitales, etc.) quedan incluidos en este término.

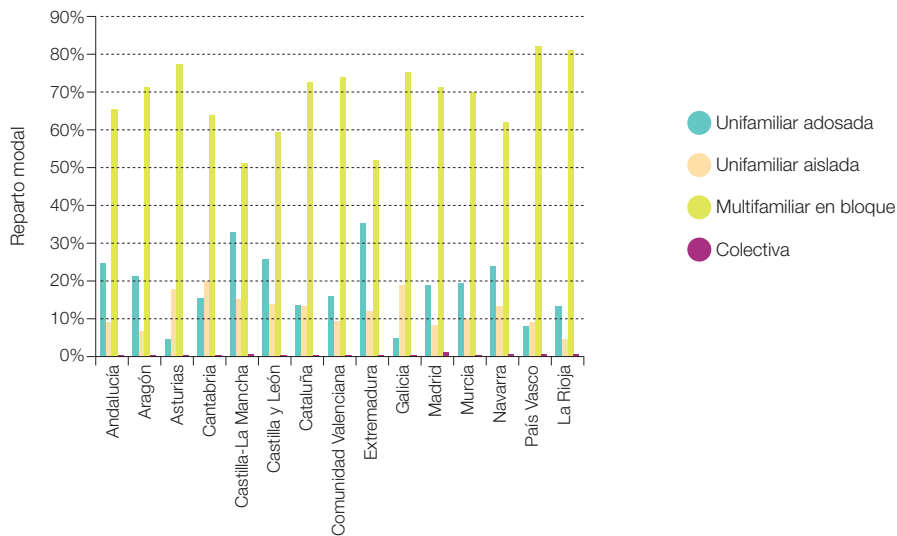
también representativo del que tendremos en el año 2050, tanto para el contexto BAU como para el E3.0.

Para el parque de edificios residencial, nos apoyaremos en los datos del Ministerio de Fomento que caracterizan los edificios construidos⁵⁹⁴ en el periodo 2000 a 2009. Dado el pico en la construcción de edificios residenciales durante estos años, consideramos que este reparto modal puede resultar representativo de las condiciones en el año 2050, pues gran parte de esta superficie realizada durante el boom de la construcción residencial nos va a acompañar hasta esas fechas. En la figura 293 mostramos el reparto modal de la superficie construida acumulada durante el periodo 2000-2009 por CCAA. De cara a la elección de tipologías de edificios, hemos juntado los modos unifamiliares adosados con unifamiliar

aislados para representarlos mediante una única tipología edificatoria, la unifamiliar adosada, que tal y como mostramos anteriormente apoyándonos en los datos recopilados por el INE resulta dominante.

Por lo que se refiere a los edificios terciarios, del procesado de los datos del Ministerio de Fomento que caracterizan los edificios construidos en el periodo 2000 a 2009 obtenemos el reparto modal por CCAA reflejado en la figura 294, mientras que la figura 295 nos muestra el resultado total para España. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurría con el sector residencial, este reparto modal no lo podemos considerar representativo ni del parque actual ni del parque para el año 2050 debido, por un lado, a la elevada vida de algunos modos de edificios terciarios, y por otro lado a la distorsión que ha supuesto el boom de

Figura 293. Reparto modal de la superficie residencial construida durante el periodo 2000-2009, que es el que consideramos representativo para el horizonte temporal de los escenarios aquí desarrollados.



594 Más precisamente los visados de dirección de obra de los colegios de arquitectos técnicos.

edificación residencial de los últimos 10 años. Además, las tipologías en las que aparecen agrupados los datos del Ministerio de Fomento no responden a las características de

consumo energético de los edificios, por lo que no se ajustan adecuadamente a las tipologías de edificios que hemos adoptado para representar el parque comercial.

Figura 294. Reparto modal de la superficie terciaria construida durante el periodo 2000-2009 por CCAA.

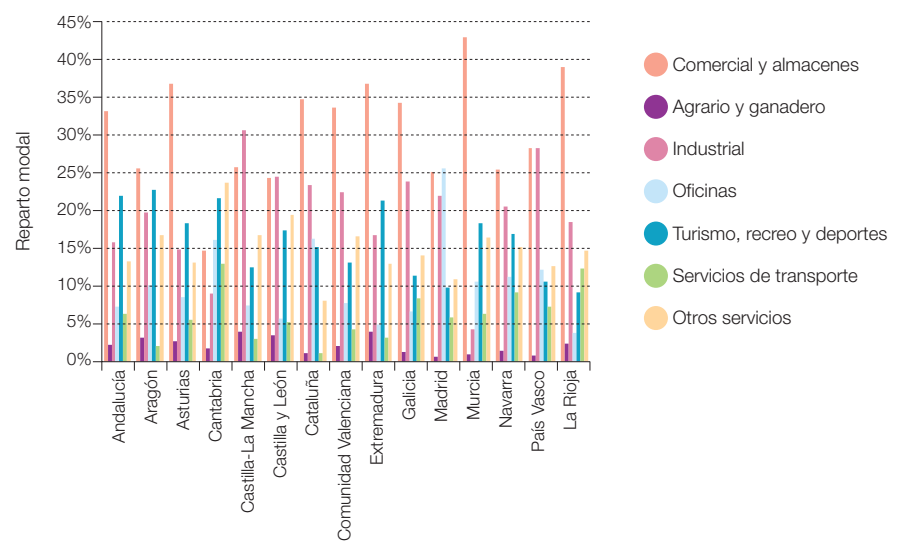


Figura 295. Reparto modal de la superficie terciaria construida durante el periodo 2000-2009 en España.

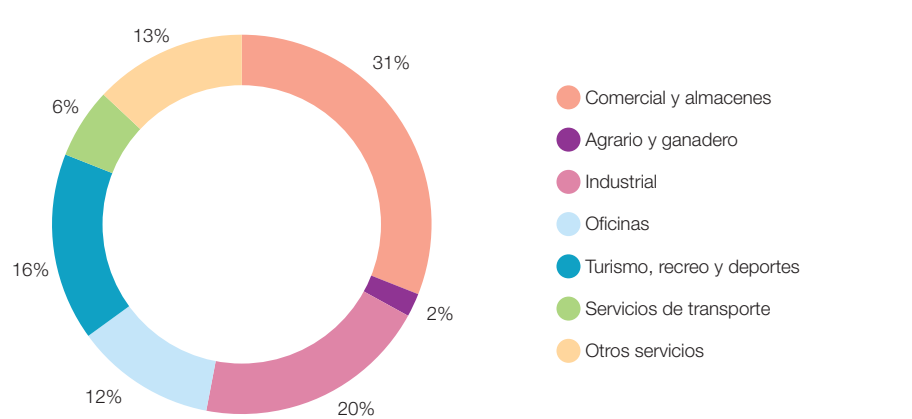
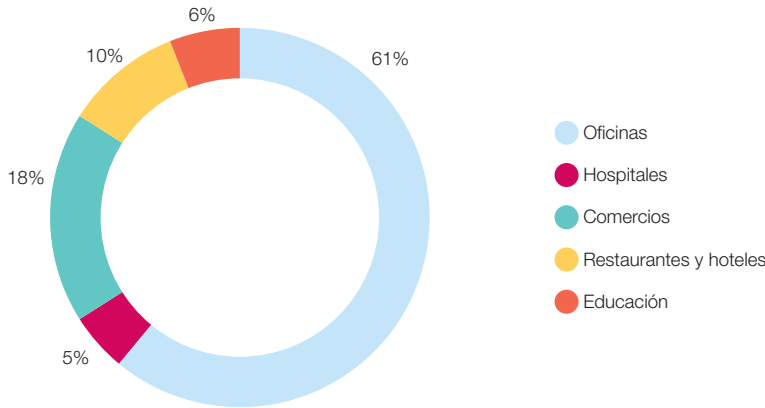


Figura 296. Reparto modal de la superficie comercial obtenido al procesar los valores de consumo energético indicados en la E4 con los consumos específicos correspondientes a las simulaciones con los edificios de referencia empleados en este informe.



En el documento sectorial de edificación de la E4 (MINECO, IDAE, 2003) aparece un reparto modal de los edificios terciarios basándose en su consumo energético. Desafortunadamente no figura en ese documento información asociada al reparto en términos de áreas ni de los consumos específicos de las correspondientes categorías de edificios. Con el fin de obtener a partir de estos datos una representación del reparto modal implícito, hemos empleado los consumos específicos de los edificios de referencia que hemos adoptado en este estudio, con el resultado que muestra la figura 296. El primer elemento que observamos en este reparto modal es la gran discrepancia con los resultados de la construcción acumulada en el periodo 2000-2009 que mostramos en la figura anterior. También sorprende el elevado peso de los edificios de oficina sobre el reparto modal, que no consideramos representativos de la situación real.

Otra fuente de información relevante son los repartos modales en EE. UU., que debido a la mayor calidad y exhaustividad de

la información recopilada periódicamente para caracterizar el parque de edificios comerciales⁵⁹⁵ nos puede proporcionar una indicación sobre la estructura que cabe esperar en este subsector de la edificación. En la figura 297 mostramos el reparto modal (reagrupado en las tipologías de edificios que nosotros vamos a usar) empleado junto a los DOE Benchmarks para caracterizar el parque de edificios comercial en EE. UU., y procedente de la encuesta realizada en 2003 por la AIE de EE. UU. (CBECS, 2003). Como podemos observar, este reparto modal, correspondiente al parque de edificios existente en EE. UU., difiere significativamente tanto del reparto modal de la construcción acumulada en España para el periodo 2000-2009, como de los datos que se desprenden de la E4, pero nos parece un reparto modal más consistente con las distintas tipologías de edificios consideradas.

Intentando mezclar toda esta información, elaboramos un escenario de reparto modal del sector terciario tomando como base a

⁵⁹⁵ En EE. UU. a este subsector se le denomina de edificios comerciales. Recordemos que en el marco de este informe es lo mismo que denominamos edificios terciarios.

Figura 297. Reparto modal del parque de edificios comercial en EE. UU. según la encuesta CBECS 2003 de la AIE. Este constituye también el reparto modal de los edificios terciarios adoptado para el conjunto de la España peninsular de cara al desarrollo de los escenarios (que posteriormente diferenciamos por CCAA de acuerdo con la actividad de construcción de los últimos 10 años).

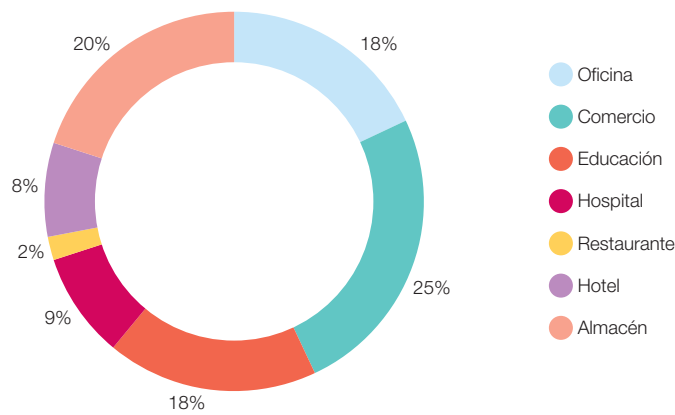
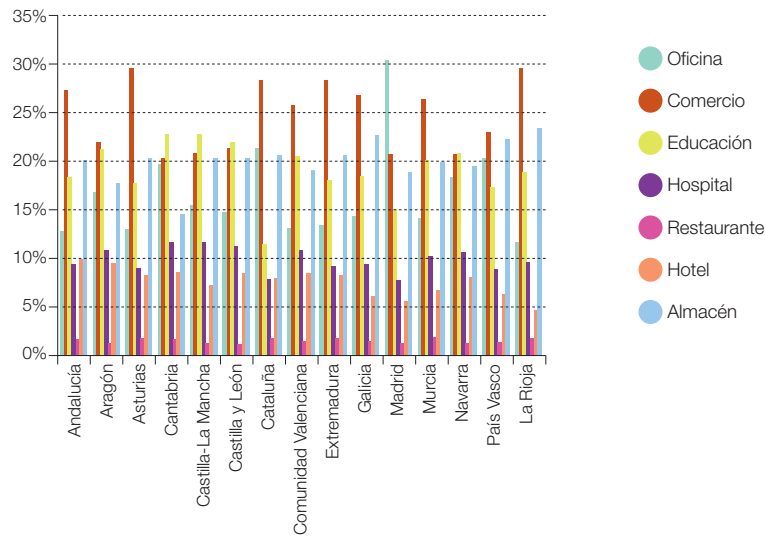


Figura 298. Reparto modal del parque de edificios comercial en España finalmente adoptado para el desarrollo de los escenarios, con su desglose a nivel CCAA.



nivel del total de la España peninsular el reparto modal EE. UU. (figura 297), y lo ponderamos para diferenciarlo a nivel CCAA principalmente de acuerdo con la información correspondiente a la construcción durante los últimos 10 años⁵⁹⁶. El resultado es el que mostramos en la figura 298 correspondiente al reparto modal diferenciado por CCAA.

3.7.5 Calibrado del consumo energético de los edificios

En este punto vamos a presentar los resultados de un ejercicio de calibrado de la estructura de consumo energético del sector edificación en la actualidad.

El calibrado es una práctica habitual del desarrollo de modelos en ingeniería con el fin de ajustarlos mejor a la realidad para posteriormente poder emplearlos en predecir cómo responderá el sistema modelado a la modificación de ciertos parámetros⁵⁹⁷. La idea fundamental es que al desarrollar un modelo físico de un sistema real, se formulen relaciones entre las distintas entradas y salidas de este sistema, que a su vez contienen una serie de parámetros internos del sistema. El modelo así formulado tiene, en principio, capacidad de reproducir la dependencia funcional entre las salidas y las entradas, pero tanto los parámetros internos que caracterizan al sistema como las entradas a que lo sometemos tienen una serie de incertidumbres que se propagan dentro del modelo para introducir un error en las salidas del modelo. Al calibrar el modelo, ajustamos valores tanto de parámetros internos como de las entradas para ajustar la salida del modelo a lo observado en la realidad⁵⁹⁸. Este proceso de calibrado, además de dejar el modelo “ajustado” para poder describir la realidad, puede a menudo emplearse para deducir el valor de ciertas entradas

o parámetros internos sobre los que exista incertidumbre: en el calibrado esta variable con incertidumbre se modifica para reproducir en el modelo la salida que nos proporciona el sistema real, y de esta forma podemos obtener información cuantitativa sobre el estado actual desea variable sometida a incertidumbre. En todo este planteamiento hay que tener además presente que la “realidad” se encuentra también sometida a incertidumbre, lo cual es especialmente cierto en el caso que nos ocupa.

En los términos que aquí nos ocupan, el “modelo” es el que hemos desarrollado para describir el sector edificación, y su “salida” principal es el consumo de energía del sector edificación. “Entradas” relevantes al modelo sobre las que existe un grado de incertidumbre significativo son, tanto la superficie total del parque edificatorio que realmente se está utilizando, como el reparto modal de esta superficie entre los distintos tipos de edificios. “Parámetros” importantes del modelo son las condiciones de uso reales de los edificios. La “realidad” con la que vamos a calibrar el modelo son los datos de consumo energético del sector edificación que aparecen en los balances de la AIE para el año 2007, y que, tal y como hemos comentado anteriormente, también se encuentran sometidos a una incertidumbre significativa. El proceso de calibrado nos permitirá extraer algunas conclusiones interesantes entre las “entradas”, “parámetros” y la “realidad”.

Como hemos comentado en los puntos anteriores, la información disponible en España para caracterizar la estructura energética del sector edificación es extremadamente limitada. De hecho, con la información disponible, podemos afirmar que en esencia desconocemos por completo la estructura energética de nuestro parque de edificios actual, lo cual constituye un muy mal punto de

596 Filtrándola en relación a aquellos aspectos que parecen apuntar más a un desfase en la construcción de ciertos modos de edificios que a la representatividad del parque regional.

597 El gran potencial de los modelos es el poder anticipar el futuro al predecir qué sucederá sobre las salidas del sistema si cambiamos una serie de entradas o parámetros, sin incurrir en los costes (de tiempo y económicos) ni los riesgos (piénsese por ejemplo en el sistema climático) de obtener esas respuestas vía experimentación, permitiendo el diseño y optimización de la mayoría de sistemas técnicos que nos rodean. Sin embargo hay que ser conscientes de las limitaciones de los modelos, tanto en lo que respecta a la calidad de su formulación, como a las incertidumbres en entradas y parámetros, para considerar en su contexto adecuado las descripciones de cómo podría desplegarse el futuro que nos proporcionan.

598 Sin embargo, debe tenerse en cuenta que lo habitual en los procesos de calibrado es que se tengan muchas más variables independientes que ecuaciones, por lo que el calibrado no puede resolver todas las incertidumbres asociadas a las variables del modelo. En este contexto, damos por buenas aquellas variables y parámetros sobre los que tengamos una menor incertidumbre, y empleamos el proceso de calibrado para caracterizar o obtener información adicional sobre aquellas variables que contengan mayor incertidumbre. Pero dado que el sistema original estaba indeterminado, estos resultados no los podemos considerar como una descripción completa de la “realidad”, sino más bien como una información cualitativa adicional sobre la misma, que de paso nos deja el modelo validado para usarlo en proyecciones del futuro.

partida para impulsar medidas de eficiencia orientadas a objetivos concretos⁵⁹⁹.

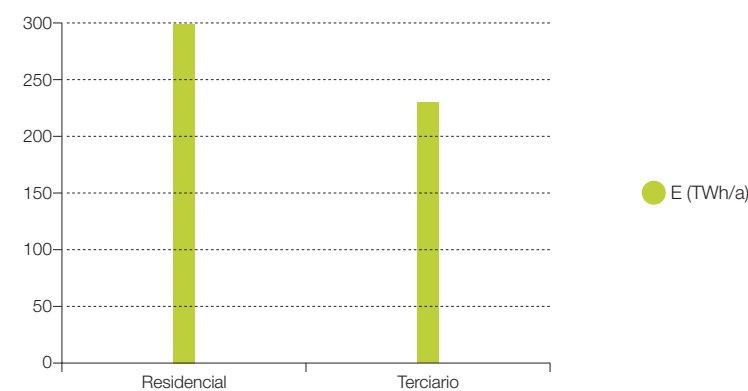
Para salvar este escollo, en el marco de este estudio hemos desarrollado un modelo que nos proporcione una estimación de la estructura energética del parque de edificios actual, que es el que luego hemos empleado para proyectar los escenarios BAU y E3.0 para el año 2050.

Por tanto, tiene interés⁶⁰⁰ analizar cómo com-para la estimación desarrollada del parque de edificios actual con los únicos datos macro de los que disponemos sobre la estructura ener-gética del sector edificación, que son los que aparecen en los balances de la AIE⁶⁰¹ y que constituyen nuestra aproximación a la “reali-dad” del sector edificación, para extraer con-clusiones tanto sobre las entradas y pará-metros del modelo, como sobre la “realidad” del este sector. Estos datos de los balances de la AIE que usaremos para caracterizar la “realidad” energética de este sector, a nues-tro entender están muy lejos de estar libres

de incertidumbres, tanto por su carácter tan macro, como por la carencia de datos sobre la estructura energética del sector edificación en España⁶⁰², y por las peculiaridades del sector edificación, tremendamente difuso tanto en lo que hace al uso de energía final como en lo que se refiere a las fuentes energéticas em-pleadas⁶⁰³. Adicionalmente está el tema ya co-mentado de la adaptación socioeconómica de las condiciones de confort, que hace que las condiciones de confort realmente fijadas en el parque de edificios puedan diferir significati-mente de las presupuestas⁶⁰⁴. Pero dado que este es el único dato energético abarcando al conjunto del sector edificación de que dispo-nemos, lo vamos a tomar como referencia in-dicativa del consumo energético real del sec-tor edificación y, mediante el calibrado del modelo con esta “realidad”, extraer conclusio-nes sobre algunas de las entradas y paráme-tros del modelo.

Por tanto hemos desarrollado un proceso de calibrado de nuestro modelo de la estructura energética del parque de edificios, con los

Figura 299. Consumos de energía primaria del sector edificación en España, separados entre edificios residenciales y terciarios, según los datos del balance de la AIE para el año 2007.



599 En efecto, ante cualquier planificación de introducir medidas de eficiencia, las preguntas fundamentales que quedan en el aire son: ¿ahorro respecto a qué?, ¿en qué nivel de consumo nos sitúa la implementación de la medida de eficiencia? Hasta que tengamos correctamente caracterizado el parque de edificios actual resulta imposible establecer planificaciones orientadas a objetivos concretos, que son las que necesitamos.

600 Este interés es exclusivamente por lo que se refiere a extraer algunas conclusiones sobre la estructura energética actual del sector edificación (dada la indeterminación de la misma que tenemos), pero no afecta al objetivo final de este estudio que es el elaborar un escenario para el año 2050. En efecto, las incertidumbres asociadas a la descripción de la estructura actual del sector edificación (instante de inicio del escenario) se van diluyendo a lo largo del escenario, tanto por la internalización de elementos como las demandas de confort y uso, como por la desvinculación de la caracterización “oficial” de la “realidad” actual, como por la convergencia con las hipótesis que describen la configuración del escenario. Es decir, al final el escenario describe cómo se puede desplegar el futuro según unas hipótesis de partida, y como visión particular de la posible realidad del futuro según estas hipótesis, el escenario se desliza de la coyuntura de la situación actual.

601 Los datos empleados para esta calibración han sido los que aparecen en el balance de la AIE del año 2007, que son los que estaban disponibles en la web de la AIE a la fecha de la elaboración de este trabajo (de hecho, en 9/2010, esos siguen siendo los datos disponibles en la web de la AIE).

602 Que deben formar la base de los datos que aparecen en los balances de la AIE.

603 El sector transporte también es difuso en el uso final de la energía, pero las formas de energía empleadas se encuentran mucho más centralizadas en su producción y distribución, por lo que en principio a nivel macro debería ser mucho más sencillo disponer de una buena evaluación de su consumo energético (aunque como hemos visto en el calibrado del modelo del sector transporte esta situación no parece corresponderse con la realidad).

604 Que son las que se encuentran en la base de las estimaciones energéticas en las que se

datos agregados de consumo del sector que aparecen en los balances de la AIE. El interés de este proceso de calibrado reside en que, por un lado, nos proporciona una primera estimación de la bondad de nuestro modelo⁶⁰⁵ y, por otro lado, nos proporciona indicaciones de qué puede estar sucediendo realmente en el sector edificación actual.

En la figura 299 recogemos los valores de consumo energético del sector edificación, en términos de energía primaria, según se deducen del balance de la AIE para el año 2007, diferenciando entre edificios residenciales y terciarios.

El ejercicio de calibrado va a consistir en lo siguiente: tomando como objetivos los valores de consumo energético que figuran en el balance de energía de la AIE, modificaremos una serie de parámetros⁶⁰⁶ dentro de nuestro modelo de estructura energética del sector edificación actual, hasta conseguir que la previsión de consumo que proporciona nuestro modelo coincida con la indicada en el balance de la AIE.

Como modelo de la estructura energética actual del sector edificación debemos entender tanto la distribución provincial de consumos específicos de los distintos edificios, como el reparto modal entre los distintos tipos de edificios y el valor total de la superficie edificada y en uso. Para la superficie total edificada y en uso (así como su distribución provincial) tomaremos los valores presentados en los puntos anteriores, al igual que para el reparto modal entre los distintos tipos de edificios. Para la estructura de consumos específicos de cada tipología de edificio tomaremos para los modos residenciales la aproximación obtenida en el punto dedicado al análisis de los niveles de referencia de consumo que proporciona la calificación energética de edificios. Para el resto de tipologías de edificios que configuran el conjunto de edificios terciarios,

emplearemos, como base de consumos específicos que describen la situación del parque en el año 2007, los valores obtenidos a partir del escenario BAU (que hemos confeccionado a partir de la simulación de los edificios de referencia), modulados con unos coeficientes de degradación⁶⁰⁷ de la energía primaria regulada cuya distribución espacial procede del análisis desarrollado en el apartado dedicado a la certificación energética.

Como parámetros a modificar en el proceso de calibrado adoptaremos los tres siguientes:

- Porcentaje de edificios realmente en uso. Debido a las elevadas tasas de construcción experimentadas en España en los años anteriores a la última crisis, el parque de edificios actual se encuentra claramente sobredimensionado, de tal forma que una parte significativa de la superficie edificada no se encuentra realmente en uso y por tanto no consume energía.
- Coeficiente de ajuste por falta de confort y condiciones de uso. Este parámetro tiene en cuenta que las condiciones de confort y uso estándar no se encuentran completamente internalizadas, lo cual incluye el efecto, entre otros, de los aspectos de adaptación socioeconómicas de las condiciones de uso de los edificios⁶⁰⁸.
- Coeficiente de degradación de la energía primaria regulada respecto a la frontera D-E de la calificación energética de edificios. Tal y como discutimos al analizar la estructura de consumos específicos que se deduce de la calificación energética de edificios nuevos, en principio cabe esperar que si la regulación energética introducida en el año 2006 (CTE) representa una mejora respecto a la situación previamente existente del parque de edificios, aquellos componentes de la

apoya el modelo del parque de edificios desarrollado.

605 Más que de la bondad del modelo, realmente lo que evalúa es la bondad del modelo en relación a los datos de la AIE, dado que las fuentes de error en este caso pueden estar tanto en el modelo que hemos desarrollado nosotros como en los datos de la AIE, que por su carácter tan macro pueden contener importantes errores, especialmente para el sector edificación con su carácter difuso incluso por las fuentes energéticas empleadas.

606 Tal y como indicábamos anteriormente, el número de variables, con posible incertidumbre dentro del modelo, es superior al número de ecuaciones que obtenemos del proceso del calibrado. Por tanto, la manera de proceder consiste en dar por buenas aquellas variables que consideremos que tienen menor incertidumbre, o sobre las que no tenga tanto interés la información adicional que se pueda extraer, y centramos en el análisis de un menor número de variables que conviertan el problema en determinado. En este caso nos centraremos en las variables coeficiente de degradación y coeficiente de ajuste por falta de confort y uso como las más descriptivas de la caracterización de la estructura energética actual del sector edificación. Sin embargo, el hecho de que haya otras incertidumbres en la formulación hace que las conclusiones que obtengamos no puedan interpretarse como una descripción fidedigna y completa de la "realidad", sino más bien como una indicación de las tendencias subyacentes.

607 Los coeficientes de degradación los introdujimos en el capítulo dedicado al análisis de la información que se desprende de la certificación energética de edificios, y representan el cociente entre el consumo de energía regulada del parque de edificios actual y el consumo de energía regulada en unas condiciones de referencia definidas por la escala de certificación.

608 En este sentido conviene resaltar que las condiciones de uso real de cada uno de los edificios, difieren por lo general tanto de las presupuestas en los procesos de regulación y calificación energética oficiales, como las consideradas en nuestro modelo. El modelo debería describir las condiciones medias de uso de los edificios. Pero en la elaboración del modelo hemos supuesto que las demandas de servicios que hemos

demanda energética regulados⁶⁰⁹ deben ser mejores en los edificios construidos según el CTE que en el parque de edificios actual. Este hecho lo expresábamos mediante un coeficiente de degradación de la energía primaria regulada, cociente entre el consumo asociado a estos componentes de la demanda para el parque de edificios actual, y aquel correspondiente a la frontera⁶¹⁰ D-E de la calificación energética de edificios nuevos.

Puesto que disponemos de dos modelos, uno para el subsector residencial y otro para el subsector terciario, y dado que también disponemos de los datos “reales” del consumo agregado de estos dos subsectores (datos de los balances energéticos de la AIE para el año 2007), vamos a desarrollar dos procesos de calibrado, uno para el subsector residencial y otro para el terciario.

En primer lugar acometemos el calibrado del modelo del subsector residencial. En la figura 300 mostramos los resultados de tres calibrados distintos sobre el parque de edificios residenciales. En los tres casos se ha mantenido fijo el parámetro que representa el porcentaje de viviendas en uso, como un valor representativo de las viviendas principales y una cierta contribución de las secundarias⁶¹¹.

Para el calibrado-1 hemos empleado un valor del coeficiente de degradación del 135%, que es el que en primera aproximación supusimos al confeccionar el modelo de consumo energético específico del sector residencial de acuerdo con los resultados del procesado de la calificación energética de edificios nuevos. Este valor de coeficiente de degradación parecía adecuado dado que la degradación de los edificios residenciales nuevos, cumpliendo el CTE al pasar de la frontera C-D de la escala de calificación (percentil 40% de la muestra

analizada para el desarrollo de la escala) a la frontera D-E (percentil 95%), oscila entre 140% y 149% según las provincias, y dado que esperábamos que el parque de edificios actual fuera peor que los que se van a construir según el CTE. En estas condiciones, el proceso de calibrado nos proporciona un coeficiente de ajuste por falta de confort y uso del 63,4%, que realmente parece excesivamente bajo.

Este resultado nos indica que probablemente el coeficiente de degradación del parque actual originalmente supuesto sea excesivamente elevado.

En los calibrados 2 y 3 hemos supuesto para este coeficiente de degradación⁶¹² unos valores de 92% y 88%, obteniendo del proceso de calibrado unos coeficientes de ajuste por falta de confort y uso de 76,5% y 78,0% respectivamente.

Por tanto, podemos extraer las siguientes conclusiones sobre el proceso de calibrado⁶¹³ del modelo del parque de edificios residencial:

- Probablemente el CTE no represente una mejora significativa⁶¹⁴ respecto al parque de edificios actual. El ejercicio de calibrado aquí desarrollado apunta a que el parque de edificios residencial actual se encuentra dentro de la clase D de calificación energética, al igual que la mayoría de los edificios nuevos construidos según el CTE⁶¹⁵. Puesto que este resultado proviene del calibrado, tomando como descripción correcta de la realidad energética del sector los balances de la AIE, queda condicionado a la incertidumbre en la descripción de la realidad que proporcionan los balances de la AIE.
- La demanda de confort y uso de equipamiento no se encuentra completamente

considerado como demandas potenciales (climatización, iluminación, equipamientos, etc.) se encuentran totalmente internalizadas, mientras que la realidad actual puede ser distinta. De todos modos, más allá del ejercicio de calibrado que estamos desarrollando para el año 2007 (donde la internalización de la demanda de servicios puede no ser completa), el objetivo principal del modelo es proporcionar una descripción de la situación que cabe esperar en el año 2050, y para esas fechas la internalización completa de las demandas de servicios parece una hipótesis apropiada.

609 Respecto a los componentes de consumo no regulados, no se puede asumir una mejora de los edificios construidos según la regulación actual respecto a los del parque existente.

610 Conviene recordar que la gran mayoría de los edificios residenciales construidos según el CTE caen dentro de la clase D de la escala de calificación de edificios nuevos según el estudio realizado para desarrollar dicha escala de calificación.

611 Según el censo 2001 del INE, el porcentaje de viviendas principales corresponde a un 68,7%, el de secundarias a un 16,3% y el de vacías a un 15%. Hemos considerado que las viviendas secundarias contribuyen al consumo con un 20% de su consumo potencial.

612 A nivel de referencia, el coeficiente de “degradación” de la frontera C-D de la calificación energética respecto a la frontera D-E que estamos usando como referencia, oscila entre 62,5% y 66,7% en las distintas provincias. Nótese que en el caso de que el coeficiente de degradación resulte menor que el 100%, lo que está reflejando es una mejora del caso analizado respecto al de referencia.

613 Evidentemente, el modelo del sector edificación que hemos desarrollado contiene muchos más parámetros que los que hemos “ajustado” en el proceso de calibrado, y algunos de ellos pueden contener una incertidumbre significativa a la vista de la limitada caracterización del sector edificación en España, aunque para los edificios residenciales que son los involucrados en este calibrado las incertidumbres son menores que para los edificios terciarios. Por tanto, los resultados del calibrado hay que tomarlos más como una indicación de por dónde van las tendencias de la estructura energética actual del sector edificación que como la

internalizada en el parque de edificios actual. El ejercicio de calibrado aquí desarrollado apunta a que existe del orden de un 20-25%⁶¹⁶ de esta demanda que no se encuentra internalizada en la actualidad. Esta conclusión queda condicionada a la incertidumbre con que los balances de la AIE describen la realidad del sector edificación.

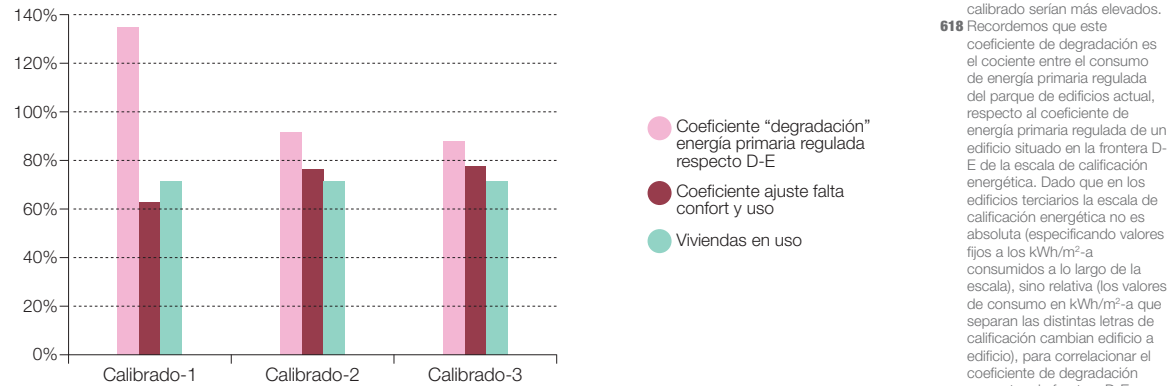
- Es posible que lo que hemos considerado como la “realidad” del consumo de energía del sector de edificación en el año 2007, es decir, los balances de la AIE, contengan un error por defecto significativo, es decir, que el consumo real de energía del sector edificación sea superior a los valores registrados por la AIE. Desde el punto de vista de cómo se confeccionan estos indicadores macro parece posible que exista este error por defecto, y los bajos valores obtenidos para los coeficientes de degradación y coeficiente de ajuste por falta de confort y uso también parecen apuntar en esta dirección⁶¹⁷.

A continuación desarrollamos el calibrado del modelo del subsector terciario. En la figura 301 mostramos los resultados de cuatro calibrados distintos sobre el parque de edificios

terciario. En principio, cabe esperar que en el parque de edificios terciario el porcentaje de edificios en uso sea más alto que en el parque residencial, por lo que en principio hemos asignado un valor del 95% a este parámetro. Por lo que respecta al coeficiente de ajuste por falta de confort y uso también cabe esperar que en los edificios terciarios sea muy superior al obtenido en los edificios residenciales, debido al hecho de que en este tipo de edificios hay mucho menos margen para la adaptación socioeconómica, pero en principio dejamos este parámetro libre para obtenerlo como resultado del proceso de calibrado.

Empezamos presuponiendo que la introducción del CTE supone una mejora respecto al parque de edificios existente, por lo que en el calibrado-1 asignamos un valor del 115% al coeficiente de degradación⁶¹⁸. Sin embargo, en estas condiciones obtenemos un valor extremadamente bajo (78,1%) para este tipo de edificios del coeficiente de ajuste por falta de confort y uso. Si reducimos en el calibrado-2 el coeficiente de degradación al 105% seguimos obteniendo un valor demasiado bajo (81,4%) del coeficiente de ajuste por falta de

Figura 300. Resultados de tres procesos de calibrado del parque de edificios residencial.



“verdad” definitiva (que por otro lado probablemente no exista...).

614 Sin perder de perspectiva las incertidumbres asociadas a otros parámetros del modelo o a la propia caracterización de la “realidad” mediante los balances de la AIE, cabe señalar que otros estudios basados en un enfoque totalmente distinto y mucho más sencillo apuntan en la misma dirección. En concreto, en (García-Casals X., 2004), (García-Casals X., 2005) y (García-Casals X., 2006-1) se documenta un análisis basado sencillamente en traducir los indicadores en los que se basa el CTE a los indicadores de la normativa anterior (NBE CT-79) para poder hacer una comparación directa entre ambas, concluyendo que para las tipologías de edificios de baja compactad (los de por sí menos eficientes) el CTE significa un empeoramiento significativo respecto a la NBE CT-79, mientras que para los edificios de elevada compactad el CTE representa una mejora más limitada (del orden de 1/3 del empeoramiento en los edificios poco compactos).

615 Tal y como se desprende de la “muestra” analizada para el desarrollo de la escala de calificación energética de edificios residenciales nuevos.

616 Como velamos anteriormente, para los calibrados 2 y 3 los coeficientes de ajuste por falta de confort y uso resultaban del 76,5% y 78% respectivamente, por lo que la demanda de servicios potenciales no cubierta era del 23,5% y el 22% respectivamente.

617 Si la “realidad” tuviera un consumo energético mayor que los reflejados en los balances de la AIE, los coeficientes de degradación y ajuste por falta de confort y uso que arrojaría el proceso de calibrado serían más elevados.

618 Recordemos que este coeficiente de degradación es el cociente entre el consumo de energía primaria regulada del parque de edificios actual, respecto al coeficiente de energía primaria regulada de un edificio situado en la frontera D-E de la escala de calificación energética. Dado que en los edificios terciarios la escala de calificación energética no es absoluta (especificando valores fijos a los kWh/m²-a consumidos a lo largo de la escala), sino relativa (los valores de consumo en kWh/m²-a que separan las distintas letras de calificación cambian edificio a edificio), para correlacionar el coeficiente de degradación respecto a la frontera D-E con

confort y uso, concluyendo que al igual de lo que sucedía con los edificios residenciales, el coeficiente de degradación deberá ser inferior al 100% en el parque de edificios terciarios.

En el calibrado-3, con un factor de edificios en uso del 90% (parece bajo para el parque terciario), al emplear un coeficiente de degradación del 85% obtenemos del proceso de calibrado un coeficiente de ajuste por falta de confort y uso del 93,8% que ya parece más apropiado para este tipo de edificios, si bien todavía un poco bajo.

En el calibrado-4, con un factor de edificios en uso del 95%, es preciso reducir el coeficiente de degradación hasta el 65% para obtener del proceso de calibrado un coeficiente de ajuste por falta de confort y uso del 97,9%, que parece más apropiado para este tipo de edificios.

De este proceso de calibrado del subsector terciario podemos extraer la siguiente conclusión⁶¹⁹:

- Para el parque de edificios terciario, los resultados del proceso de calibrado apuntan

de forma bastante consistente a que la introducción del CTE no representa una mejora sustancial⁶²⁰ respecto al parque de edificios existente, que parece situarse dentro de la categoría D de la escala de calificación de edificios nuevos. Esto se refleja por los coeficientes de degradación inferiores a la unidad⁶²¹ hacia los que apunta el proceso de calibrado. Puesto que este resultado proviene del calibrado y toma como descripción correcta de la realidad energética del sector los balances de la AIE, queda condicionado a la incertidumbre en la descripción de la realidad que proporcionan los balances de la AIE. En efecto, si el consumo del subsector terciario fuera superior al registrado por los balances de la AIE, el coeficiente de degradación que obtendríamos del proceso de calibrado sería más elevado.

El proceso de calibrado del modelo del sector edificación con la “realidad” en el año 2007, tal y como queda caracterizada por los balances de la AIE, nos ha permitido por un lado, obtener información cualitativa sobre la estructura energética actual del sector edificación, pero por otro lado, teniendo en cuenta la escasa información de partida disponible para

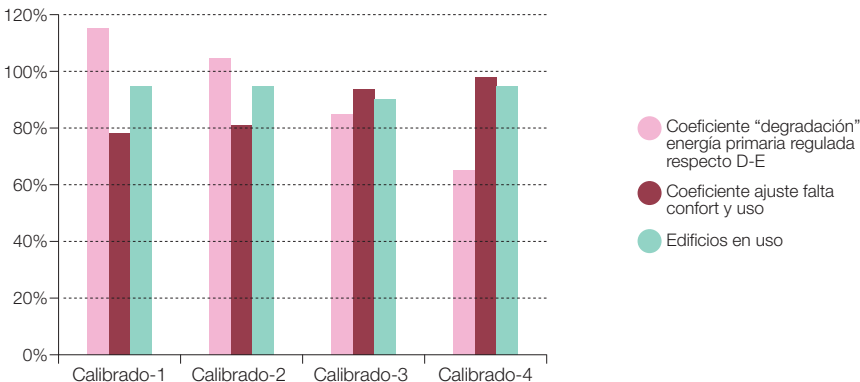
los coeficientes de degradación respecto al BAU 2050 nos hemos apoyado en el análisis desarrollado para la calificación energética de los edificios residenciales (para los cuales la escala de calificación sí que es absoluta, aunque dependiente de la zona climática). Este es otro de los múltiples inconvenientes del uso de escalas relativas tanto en la regulación (CTE) como en la calificación de edificios terciarios, y en esencia no es más que un reflejo de la ausencia de una caracterización energética orientada a objetivos, lo cual añade importantes incertidumbres sobre la estructura energética del sector edificación.

619 Evidentemente, el modelo del sector edificación que hemos desarrollado contiene muchos más parámetros que los que hemos “ajustado” en el proceso de calibrado, y algunos de ellos pueden contener una incertidumbre significativa a la vista de la limitada caracterización del sector edificación en España, lo cual es especialmente cierto para los edificios terciarios. Por tanto, los resultados del calibrado hay que tomarlos más como una indicación de por dónde van las tendencias de la estructura energética actual del sector edificación que como la “verdad” definitiva.

620 Otras referencias anteriores también apuntan en este sentido y se basan en una “traducción” de los indicadores del CTE al indicador empleado por la normativa anterior (NBE CT-79), bajo la cual se ha construido gran parte del parque actual, de tal forma que pudieran compararse directamente ambas normativas. Los resultados se encuentran documentados en (García-Casals X., 2004, 2005, 2006-1).

621 Cuyo significado es que el consumo de energía primaria regulada del parque de edificios actual es menor que el de la frontera D-E de la escala de calificación.

Figura 301. Resultados de cuatro procesos de calibrado del parque de edificios terciario.



la caracterización energética del parque de edificios actual, así como la incertidumbre en la caracterización de la “realidad” (balances AIE), consideramos que los resultados arrojados por el proceso de calibrado muestran una buena consistencia del modelo desarrollado para describir la estructura energética incluso del parque de edificios existente, lo cual da soporte a la proyección de escenarios que realizamos a partir de la situación actual para generar los contextos BAU y E3.0 en el año 2050.

En efecto, el objetivo del modelo que hemos desarrollado es el predecir las implicaciones de distintas hipótesis de entrada (tamaño de parque de edificios, condiciones de uso, tecnologías empleadas, etc.) sobre el consumo energético del sector edificación en el año 2050⁶²², tanto para un contexto BAU como para un contexto E3.0, y el grado de detalle del modelo desarrollado nos proporciona una gran solidez para correlacionar las distintas hipótesis de entrada con su implicación energética. Las incertidumbres asociadas a las variables de entrada y la caracterización de la “realidad” en el inicio del escenario, se van diluyendo a medida que evoluciona a lo largo del periodo de análisis, al distanciarse de la situación concreta actual, de tal forma que a partir de un cierto punto el modelo ya no se ve afectado por estas incertidumbres, y actúa, tan solo, como herramienta para correlacionar hipótesis sobre las variables de entrada y su implicación energética. De hecho, algunas de las fuentes de incertidumbre existentes en la caracterización actual del sector edificación, como el porcentaje de edificios en uso y el coeficiente de ajuste por falta de confort y uso, cabe esperar que se vayan internalizando a lo largo del periodo de tiempo considerado hasta el año 2050, a medida que vayamos poniendo en uso el exceso de superficie construida durante estos últimos años y de

que se vaya incorporando la cobertura de esas demandas potenciales de servicios.

A partir de este punto, vamos a centrarnos pues en el instante final del escenario (año 2050), aunque según la información generada proporcionemos alguna información de cómo podría desarrollarse la transición desde la situación actual.

3.7.6 Componentes de demanda energética y potencial de mejora

Recopilamos en este punto, la caracterización de los componentes básicos que determinarán la demanda energética de los edificios, con indicación de los niveles de eficiencia alcanzables tanto en los contextos BAU como en el E3.0.

La aplicación de medidas de eficiencia en el sector edificación, así como la evolución que cabe esperar del uso de la energía en los edificios, conduce a una modificación radical de la estructura de demanda de energía en este sector. En efecto, el predominio actual de demanda de energía para cubrir las necesidades de climatización, evoluciona hacia una situación en que dicha demanda pasa a ser minoritaria, y queda fuertemente dominado el consumo de energía de los edificios por la demanda de los equipamientos en ellos implementados. Incluso otros elementos de demanda de gran peso actual como la iluminación, se reducen gracias a las medidas de eficiencia de lámparas y luminarias, y a la incorporación de las opciones de iluminación natural y de inteligencia. Pero los equipamientos, con una tendencia creciente a la demanda de sus servicios, tiene una evolución del consumo de energía que en un contexto BAU podría resultar incluso creciente respecto a la situación actual, y en el contexto E3.0 su

622 De hecho, el objetivo de este estudio no es el de evaluar el proceso de transición desde la actualidad hasta el año 2050, sino el analizar las implicaciones que en el año 2050 adquiere el haber evolucionado por una senda BAU o por una eficiente. Sin embargo, a lo largo del informe proporcionamos como resultado secundario distintas opciones de cómo podría desarrollarse la transición desde la situación actual hasta el año 2050, pues de su análisis también se desprenden algunas conclusiones interesantes.

menor reducción de consumo respecto a otras componentes de demanda, a menudo les convierte en la componente dominante de la estructura de la demanda total. Por otro lado, si bien es cierto que en muchos equipamientos existe todavía un importante potencial de mejora de su eficiencia, dado que hasta la fecha las consideraciones de eficiencia energética no han resultado prioritarias en su diseño, en otros equipamientos de proceso (como los implementados en hospitales, restaurantes, lavanderías, etc.) el margen de mejora puede resultar bastante más limitado.

En un contexto en el cual la demanda de los edificios queda dominada por el consumo energético de los equipamientos en ellos instalados, aspectos como la inteligencia en la gestión de la operación de estos equipamientos⁶²³ y la posibilidad de actuar sobre ellos de forma inteligente, para potenciar la gestión de la demanda, pasa a ser un aspecto fundamental del enfoque E3.0. Y desde el punto de vista de elección de tecnologías y despliegue de infraestructuras energéticas, el hecho de que los equipamientos consuman electricidad y pasen a ser la componente dominante de la estructura energética, sin duda condiciona aspectos como la electrificación del resto de componentes de demanda.

Un punto que merece mención explícita es el tratamiento que hemos hecho de algunas de las medidas pasivas potencialmente aplicables para mejorar el comportamiento energético del edificio, por lo que concierne principalmente a la elección de la forma y orientación de los edificios. Estos aspectos de diseño, para un edificio particular, pueden tener un efecto importante sobre su demanda de energía, y de hecho constituyen habitualmente los primeros grados de libertad con los que hay que jugar para optimizar su comportamiento energético. Sin embargo, son aspectos que están muy

condicionados a las restricciones que aplican sobre cada caso particular, y por tanto, que resultan difíciles de incorporar en un proceso de análisis del conjunto del sector edificación como el aquí abordado, sin llegar a unos resultados excesivamente optimistas. En efecto, restricciones como condicionantes específicos del diseño del edificio, tanto por funcionalidad como por otros criterios arquitectónicos, así como las restricciones que introduce el entorno urbano en el que se va a desarrollar el edificio por lo que respecta a la forma y orientación de las parcelas, llegan a condicionar de forma significativa la forma y orientación que finalmente se proporciona a un edificio⁶²⁴. La propia planificación urbanística ha estado tradicionalmente desligada de las consideraciones energéticas, y las decisiones implementadas en los planes generales de ordenación urbana condicionan en gran medida y durante muchos años aspectos con fuertes implicaciones energéticas, como la forma y orientación de los edificios desarrollados bajo el paraguas de esa planificación, los sombreados estacionales entre edificios⁶²⁵, y el patrón de flujo del aire por el entramado urbano⁶²⁶. El urbanismo bioclimático, mediante la incorporación de estos elementos a la planificación urbana, podría facilitar mucho la transición hacia un contexto de eficiencia en el sector edificación, y en el caso de ampliar su ámbito de actuación para evolucionar hacia un urbanismo sostenible, podría tener importantes impactos beneficiosos sobre otros sectores energéticos de gran peso como el transporte.

En el ámbito de este estudio, no se ha incorporado la optimización de elementos de forma y orientación en el modelo del sector edificación por varios motivos:

- Limitación del alcance del trabajo, que excluía completamente la posibilidad de optimizar

623 Eliminar o reducir sustancialmente consumos "parásitos" como los de *stand-by* o los asociados a condiciones de bajo uso.

624 En este contexto, los criterios energéticos deben interactuar con otros criterios de diseño para influir sobre la forma y orientación que finalmente se adopte, de tal forma que el resultado final refleje, por lo menos, un cierto nivel de compromiso con las prestaciones energéticas. Para que esto sea así, es imprescindible que los mecanismos de incentivación de la eficiencia reaccionen ante elementos de diseño tan importantes como la forma del edificio. Lamentablemente, la calificación energética de edificios terciarios, al emplear una escala de calificación relativa, es totalmente insensible a la forma y orientación del edificio, motivo por el cual no permite que las consideraciones energéticas participen en la determinación final de la forma y orientación del edificio durante la etapa de diseño.

625 Que a su vez condicionan tanto su demanda de refrigeración como la de calefacción (aportes solares pasivos), así como la posibilidad de integración de sistemas solares en la envolvente del edificio.

626 Que a su vez condiciona tanto el potencial de aplicación de estrategias de ventilación natural, de implementación de estrategias de refrigeración pasiva, y las pérdidas convectivas de la envolvente de los edificios al aire.

cada uno de los modelos de edificio al representar a los distintos modos considerados en términos de forma y orientación para cada emplazamiento climático.

- Necesidad de representar con un solo modelo de edificio cada uno de los modos considerados, de tal forma que el resultado pudiera considerarse representativo del conjunto del parque de edificios. Dado que en el pasado el despliegue del urbanismo bioclimático ha sido prácticamente nulo, y puesto que esta planificación urbanística energéticamente insensible condicionará gran parte del parque de edificios existente en el año 2050, parece más correcto representar el conjunto del parque con un modelo en que no se han optimizado los grados de libertad de forma y orientación.
- El resultado al que se llega al no incorporar las consideraciones del urbanismo bioclimático y algunos de los elementos del diseño solar pasivo⁶²⁷ es conservador, dejando un margen de mejora para el diseño de cada edificio particular que permitirá facilitar la transición hacia un contexto E3.0.

Sin embargo, otros elementos pasivos, como son 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, la iluminación natural, etc., sí que se han incorporado en el contexto E3.0, e incluso se han potenciado más allá de su potencial pasivo puro mediante la incorporación de inteligencia.

Por lo que respecta a algunos elementos pasivos tradicionales, como pueden ser los aleros para gestionar estacionalmente el sombreado sobre los acristalamientos del edificio, no aparecen incorporados explícitamente en el

contexto E3.0 por haber sido sustituidos de cara al año 2050 por componentes inteligentes de la envolvente que permiten incrementar el rendimiento con el que se desarrollan las funciones de estos elementos. En efecto, en el diseño de un elemento pasivo como un voladizo, siempre es necesario llegar a un compromiso entre sus efectos positivos (limitación de aportes solares en régimen de refrigeración) y los negativos (reducción de aportes solares pasivos en época de calefacción), de tal forma que como consecuencia de su rigidez en las estaciones intermedias siempre conlleven una cierta penalización, aunque su efecto anual neto, si están bien diseñados, siempre sea positivo (García-Casals X., 2003-1). En el contexto E3.0, la aparición de elementos activos inteligentes⁶²⁸ permiten obtener un beneficio mucho más elevado del aspecto positivo (mayor grado de protección solar) sin tener que incurrir en las penalizaciones asociadas a la rigidez de los elementos tradicionales, por responder de forma dinámica a las necesidades reales⁶²⁹ de cada instante. Sin embargo, esto no quiere, ni mucho menos, decir que los elementos pasivos tradicionales no puedan y deban desempeñar su papel en el proceso de transición hacia el contexto E3.0, e incluso ocupar su nicho en ciertos tipos de edificios de cara al año 2050.

Otro punto que merece ser comentado explícitamente es el tema de las optimizaciones de costes, en relación al equilibrio entre aplicación de medidas de eficiencia y generación de energía. Es decir: hasta qué punto queda justificada la aplicación de medidas de eficiencia y a partir de qué punto resulta más adecuado desplegar una capacidad de generación adicional para cubrir el remanente de la demanda. En este estudio no hemos acometido un análisis detallado de este aspecto, por quedar fuera del alcance del trabajo a desarrollar, aunque sí que proporcionaremos

⁶²⁷ Que por otro lado, tal y como comentábamos anteriormente, son muy dependientes de cada caso particular y por tanto difícilmente generalizables al conjunto del parque de edificios.

⁶²⁸ Como pueden ser los acristalamientos dinámicos que modifican sus características termo-ópticas en respuesta a las necesidades reales de cada instante.

⁶²⁹ Demanda de calefacción o refrigeración, necesidad de incrementar el aislamiento, requerimientos de iluminación natural, etc.

alguna evaluación cuantitativa para contextualizar y justificar las decisiones adoptadas.

A falta de desarrollar el proceso de optimización económica, la aproximación que hemos adoptado para establecer los niveles de eficiencia desplegados se apoya en los siguientes planteamientos:

- Para aquellos elementos sobre los que hemos desarrollado un estudio paramétrico (como los espesores de aislante), hemos adoptado como nivel de eficiencia a desplegar, aquel que corresponde al codo anterior a que se sature su efecto sobre el ahorro de energía, que de forma práctica hemos definido como aquel valor, a partir del cual, la tasa de mejora se reduce por debajo de un valor umbral. La lógica detrás de este planteamiento es considerar que en la región en que una medida de eficiencia es efectiva en la reducción de la demanda, siempre resultará más apropiado desplegar esta medida de eficiencia que incrementar la capacidad de generación para cubrir esa demanda⁶³⁰.
- En el caso de los equipamientos, por lo general, hemos considerado que el despliegue de medidas de eficiencia seguirá una evolución tendencial desde las mejores aplicaciones actualmente disponibles en el mercado, y establecerá un nivel de eficiencia en el año 2050 que, o bien queda dentro de escenarios ya elaborados para la tecnología en cuestión, o bien se queda suficientemente por debajo de los límites de eficiencia teóricos de las soluciones tecnológicas actuales⁶³¹.
- Sobre algunos componentes de algunos modos de edificios no hemos desarrollado estudios paramétricos para su optimización, por limitación del alcance del trabajo aquí

desarrollado, y hemos adoptado directamente la configuración de partida de los modelos BAU⁶³², o los resultados procedentes de la optimización en otro modelo de edificio⁶³³. Este planteamiento también es bastante conservador en el sentido de que existe un potencial de mejora adicional respecto a lo que nosotros reflejamos en los resultados de este trabajo, que se puede desplegar mediante la optimización de las distintas variables que nosotros no hemos optimizado.

Y por lo que respecta al fondo filosófico del balance entre el despliegue de medidas de eficiencia y generación adicional, los puntos fundamentales en los que se apoya nuestro planteamiento son los siguientes:

- La situación a la que nos ha conducido nuestra evolución hasta la actualidad, con muy poco peso de las consideraciones de eficiencia, nos ha dejado como herencia un despliegue de infraestructuras energéticas, tanto para generación⁶³⁴ como para transporte, que en la actualidad ya conllevan unos impactos importantes tanto a nivel económico como ambiental. Con la perspectiva de tener que acomodar hasta el año 2050 un crecimiento significativo de las demandas de servicios y, en aras a acotar el impacto de la infraestructura energética, parece un planteamiento adecuado el intentar mantenernos dentro del margen que nos proporciona el sobredimensionado actual de las infraestructuras energéticas, para acomodar el crecimiento de la demanda de servicios, empleando el despliegue de las medidas de eficiencia para cubrir nuestra demanda de servicios con una infraestructura del orden de la actual. Estas consideraciones adquieren todavía más peso en el contexto E3.0 en el que se plantea una gran electrificación del sistema energético, motivo por el cual al

630 Más adelante volveremos sobre este aspecto.

631 Hay que tener presente, que para el año 2050 pueden haber surgido otras tecnologías distintas a las actuales cuyos límites teóricos de eficiencia sean superiores, por lo que este planteamiento consideramos que es suficientemente conservador.

632 Por ejemplo, en el caso de la distribución de superficies acristaladas.

633 Como es el caso de los espesores de aislamiento para el contexto E3.0.

634 Por lo que respecta a la generación, el planteamiento del contexto E3.0 es sustituir toda la infraestructura fósil o nuclear actual mediante fuentes de energía renovables, con un carácter mucho más distribuido, y una densidad de potencia menor de la propia central de generación (aunque en el caso de la mayoría de las renovables la central de generación incluye también la "minería" del recurso energético). Si bien el recurso renovable del que disponemos en nuestro país nos permite cubrir de cara al año 2050 incluso una demanda BAU, pero el requerimiento de infraestructuras de generación se dispararía.

crecimiento de la demanda de servicios se añadiría este cambio modal, para sobrecargar todavía más los requerimientos de infraestructuras eléctricas. En estas condiciones resulta prioritario el acotar la demanda de sectores como el de la edificación, que evoluciona en el contexto E3.0 hacia una electrificación total con el fin de contener el crecimiento de las infraestructuras eléctricas y su asociado impacto.

- A pesar de que el elevado potencial de recursos renovables con el que contamos (GP, 2050) nos permitiría cubrir de forma “holgada” incluso una demanda BAU para el año 2050, tal y como apuntábamos al principio de este informe esto no nos situaría en una senda de sostenibilidad, pues sería tan solo cuestión de tiempo el que una demanda creciente llegara a agotar los recursos renovables disponibles. En este sentido, el despliegue de la eficiencia para acotar el crecimiento de la demanda es una condición sine qua non para establecerse en una senda de desarrollo sostenible. Y dada la dimensión global que ha adoptado el modelo de crecimiento basado en el galopante incremento del consumo de energía, y el gran riesgo que corremos si las economías emergentes y países menos desarrollados adoptan el mismo patrón de evolución, se impone un planteamiento de contracción y convergencia que proporcionen alternativas de aplicación a nivel global en cortos plazos de tiempo, lo cual requiere un rápido despliegue de la eficiencia energética, que actuando como mecanismo de palanca permita modificar la senda de desarrollo global hacia la sostenibilidad⁶³⁵.

Y dentro del sector edificación, estos planteamientos de apurar el potencial de las medias de eficiencia caen completamente dentro de las iniciativas actuales que tanto en EE. UU.

como en Europa apuntan ya de forma decidida hacia los edificios de consumo neto cero para un plazo tan cercano como 2015-2020.

Pasamos a continuación a proporcionar una breve descripción de los principales elementos de eficiencia considerados en el desarrollo de los modelos de edificios de este estudio.

3.7.6.1 Envoltente edificio

La envoltente del edificio, como tercera piel de las personas que utilizamos el edificio, constituye un elemento de gran importancia sobre las prestaciones energéticas del edificio para cubrir la demanda de servicios de confort, y condiciona en gran medida sus demandas de climatización y de iluminación.

En este punto discutimos brevemente los elementos opacos y traslúcidos de la envoltente del edificio, para dar indicaciones en torno a las hipótesis realizadas sobre las mismas para configurar los contextos BAU y E3.0.

3.7.6.1.1 Cerramientos opacos

Los cerramientos opacos del edificio condicionan fuertemente la demanda de calefacción⁶³⁶ del edificio, y pueden afectar también de forma relevante a su demanda de refrigeración⁶³⁷. El nivel de aislamiento de estos componentes constituye uno de los elementos principales de la limitación de la demanda energética del edificio de forma pasiva. En el contexto E3.0, el requerimiento de minimizar en origen la demanda de energía del sector edificación para no sobrecargar los requerimientos de capacidad de generación y transporte de energía eléctrica, debido a la integración y electrificación del sistema energético, conduce a la exigencia de

⁶³⁵ Y al igual que con el despliegue de la generación renovable, la responsabilidad del despliegue de la eficiencia energética recae sobre los países que a base de ineficiencia y elevado consumo de recursos fósiles se han situado en una situación ventajosa respecto al resto del planeta.

⁶³⁶ Esta demanda está constituida fundamentalmente por las pérdidas de transferencia a través de la envoltente del edificio y por las necesidades de ventilación del espacio interior, aunque en algunos casos hay equipamientos, como los equipos de refrigeración de alimentos, que pueden afectar significativamente a esta demanda.

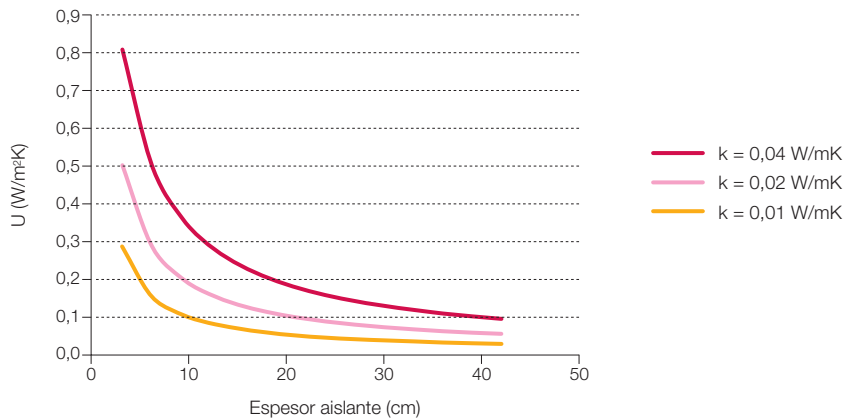
⁶³⁷ Tanto por la restricción a las ganancias por transmisión debidas a diferencias de temperatura con el exterior, como por el impedimento a la disipación de las cargas internas en algunas tipologías de edificios.

apurar al máximo las posibilidades del aislamiento de los cerramientos opacos del edificio. Con este motivo, más adelante hemos procedido a optimizar los espesores de aislante para cada emplazamiento climático, de tal forma que los niveles de aislamiento en el contexto E3.0 difieren significativamente entre unos emplazamientos y otros, lo que conduce a una gran regularización espacial⁶³⁸ de la demanda de energía, para climatizar los edificios dentro de la España peninsular.

El parámetro principal⁶³⁹ que caracteriza el comportamiento térmico de la componente opaca es su coeficiente de transferencia U, cuyo valor viene fuertemente condicionado por la cantidad y características del aislante empleado. Como referencia de los valores del coeficiente U que puede tener sentido implementar, en el estándar Passiv Haus se emplean valores del orden de $U = 0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, que como veremos más adelante tienen sentido en algunos emplazamientos climáticos de la España peninsular, pero resultan excesivos para otros emplazamientos.

Para visualizar los requerimientos asociados a alcanzar estos valores del coeficiente U, en la figura 302 mostramos la dependencia del coeficiente U con el espesor de aislante empleado para la configuración de muros del edificio de referencia empleado para describir la edificación residencial, para distintos valores de la conductividad térmica del aislante empleado. La conductividad $k = 0,04 \text{ W/mK}$ representa un valor muy normal⁶⁴⁰ entre los materiales aislantes empleados en la actualidad, por lo que resulta adecuado para visualizar los requerimientos de aislamiento en relación a los valores actualmente implementados en los edificios. Una conductividad $k = 0,02 \text{ W/mK}$ se encuentra en el límite inferior de las conductividades de aislantes comercialmente disponibles en la actualidad. Con la aplicación de nanotecnología a los materiales de construcción, es posible evolucionar hacia valores todavía inferiores de la conductividad. De cualquier forma, dado que en la resistencia térmica de un aislante intervienen tanto su espesor como la conductividad, es posible alcanzar los niveles deseados de coeficiente U

Figura 302. Relación entre el coeficiente U y el espesor de aislante (para tres valores distintos de la conductividad térmica) en el muro del edificio de referencia de los edificios residenciales distintos a los de bloque de vivienda.



⁶³⁸ Situación muy distinta a la que impulsa la regulación energética actual (CTE).

⁶³⁹ Hay otros parámetros relevantes, como su reflectancia solar y la cantidad y distribución de inercia para la gestión local de la demanda energética.

⁶⁴⁰ Más bien tirando a elevado.

incrementando los espesores de aislante según sea necesario para el valor de la conductividad del aislante elegido⁶⁴¹. Como nos muestra esta figura, para alcanzar los niveles de aislamiento del estándar Passiv Haus con un material aislante de $k = 0,04 \text{ W/mK}$ es preciso emplear espesores de aislante del orden de 35 cm, mientras que este espesor se reduce al orden de 20 cm al usar un material con $k = 0,02 \text{ W/mK}$ y a 10 cm al emplear un material con $k = 0,01 \text{ W/mK}$, estando este último valor ya muy cercano a los espesores actualmente implementados.

3.7.6.1.2 Acristalamientos

Las superficies acristaladas constituyen un componente muy importante de los edificios. Además de permitir la comunicación visual entre el interior y el exterior del edificio, tienen repercusiones muy importantes desde el punto de vista energético:

- Constituyen el método más sencillo y de menor coste para aprovechamiento de la iluminación natural⁶⁴².
- Por ellos se realizan los aportes solares pasivos directos, con efectos beneficiosos para cubrir la demanda de calefacción y negativos de cara a la demanda de refrigeración.
- Condicionan las características de transferencia con el entorno al modificar el coeficiente de transferencia de la envolvente⁶⁴³.

La superficie acristalada de un edificio debe buscar un equilibrio entre los anteriores factores, lo cual conduce a requerimientos contradictorios⁶⁴⁴ que hasta la fecha no han podido ser resueltos por la propia superficie acristalada, requiriendo la participación de otros elementos de la envolvente⁶⁴⁵ que en la medida

de lo posible cubran estas funciones. Esta imposibilidad actual de los acristalamientos para cubrir simultáneamente todos sus requerimientos conduce a la situación de que para cada tipología de edificio exista un valor óptimo de la superficie acristalada en el cual se obtiene el mejor balance entre beneficios e inconvenientes de este elemento. En la arquitectura moderna encontramos, sobre todo en el sector terciario, múltiples ejemplos de edificios en los que se supera ampliamente este valor óptimo, donde se requiere a posteriori el despliegue de elementos de protección solar adicionales y repercuten significativamente en el consumo energético del edificio.

Desde el inicio del uso de las superficies acristaladas en los edificios hasta la fecha se ha avanzado muchísimo en la tecnología, y existen en la actualidad una gran cantidad de productos optimizados cada uno de ellos con una finalidad distinta⁶⁴⁶. Los dos parámetros principales⁶⁴⁷ que distinguen a un acristalamiento desde el punto de vista térmico son su coeficiente de transferencia (U)⁶⁴⁸, y su coeficiente de ganancia solar ($SHGC$)⁶⁴⁹, y ambos han experimentado y seguirán haciéndolo una gran mejora. Como ejemplo, en la figura 303 recogemos las proyecciones del US DOE para la evolución en los próximos años del coeficiente de transferencia de las ventanas⁶⁵⁰.

La mayor limitación actual de la tecnología de acristalamientos es precisamente la ausencia de inteligencia, lo cual les confiere la rigidez de verse atados a unos valores fijos de los coeficientes U y $SHGC$. Y este es precisamente el camino por el que cabe esperar que evolucionen más las superficies acristaladas desde su situación actual⁶⁵¹. Ya existen en el mercado ventanas termocrómicas⁶⁵² y electrocrómicas⁶⁵³ con capacidad de modificar dinámicamente alguna de sus propiedades en función de una señal exterior (irradiación solar)

641 Si bien es cierto que para un valor dado del coeficiente U deseado, el uso de aislantes de conductividad elevada exige espesores de aislante que pueden resultar problemáticos desde el punto de vista de la ejecución constructiva, también es cierto que puede haber motivos para emplear un aislante que no tenga el valor más bajo posible de la conductividad térmica, como pueden ser la biocompatibilidad del material, su potencial de calentamiento global (GWP), o incluso su capacidad de actuar como sumidero de CO_2 al reducir la tasa efectiva de retorno del carbono de la biomasa a la atmósfera.

642 Para zonas interiores del edificio sin posibilidad de disponer de ventanas o lucernarios exteriores, sigue habiendo opciones tecnológicas (tubos de luz, fibra óptica) para transportar la iluminación natural al interior, pero siempre con una menor relación eficacia/coste.

643 Habitualmente los acristalamientos tienen un coeficiente de transferencia más elevado que el asociado a la parte opaca de la envolvente.

644 Permitir el aporte solar en temporada de calefacción y evitarlo en temporadas de refrigeración.

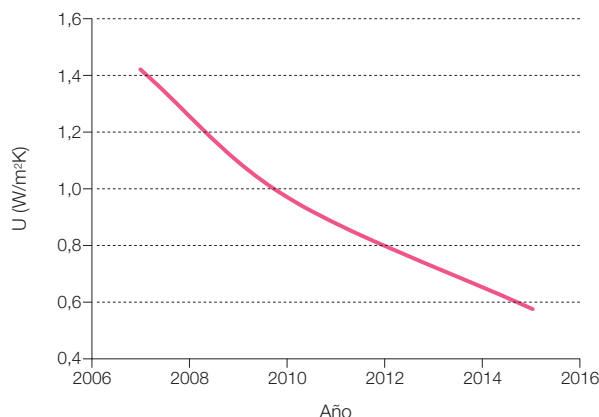
645 Este es el caso de las protecciones solares pasivas, que como tales también deben buscar un compromiso entre sus efectos positivos y los negativos (la reducción de aporte solar en temporada de calefacción).

646 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 para evitar la entrada de la fracción no visible de la radiación solar (limitando así los aportes térmicos en temporada de refrigeración).

647 Un tercer parámetro de relevancia es la transmisividad luminosa del acristalamiento, que condiciona su capacidad de contribuir a la iluminación natural de los espacios.

648 En general podemos hablar de tres coeficientes U en una ventana: el del vidrio no perturbado por efectos de borde (centro del vidrio), el del marco, y el del conjunto del hueco, que además de ponderar los valores de vidrio y marco incorpora los efectos de borde (o puentes térmicos) asociados al encuentro entre

Figura 303. Proyección del DOE para el coeficiente de transferencia térmica de las ventanas, en el marco del programa Net-zero energy commercial building initiative⁶⁵⁴.



o del sistema de control del edificio, y su participación a mayor escala en el mercado no se encuentra tan alejada⁶⁵⁵. Este comportamiento dinámico debe extenderse también a la capacidad aislante del acristalamiento, para evitar la penalización que este elemento de la envolvente introduce actualmente sobre el desempeño energético del edificio en esas condiciones, en las que no realiza aportaciones positivas⁶⁵⁶ y por el contrario penaliza debido a su mayor coeficiente de pérdidas.

De cara al contexto E3.0, debido a la necesidad de su implementación en programas de simulación del edificio, hemos optado por configurar el acristalamiento de acuerdo con las capas actualmente disponibles de forma comercial⁶⁵⁷, aunque sin lugar a dudas para el año 2050 existirán nuevas capas con capacidad de obtener unas prestaciones globales de acristalamiento significativamente mejores a las que nosotros vamos a usar y con mayor simplicidad constructiva. El objetivo en el contexto E3.0, en el cual contamos con un despliegue de inteligencia que proporciona un control dinámico de las características del acristala-

miento, es obtener valores lo más bajos posibles del coeficiente U con los valores más elevados posibles del SHGC⁶⁵⁸.

La figura 304 recoge la composición por capas, y las prestaciones del acristalamiento implementado en el contexto E3.0. Como podemos ver, se trata de un acristalamiento triple con un valor de $U_v = 0,595 \text{ W/m}^2\text{K}$ del orden de magnitud del previsto para el conjunto del hueco por el programa Net-Zero Energy Commercial Building Initiative (Iniciativa de edificios comerciales con un consumo de energía cero neto) del DOE para el año 2015, y con un SHGC = 0,49 peor del SHGC = 0,53 que pronostica este programa de desarrollo de cara al año 2015. En estas condiciones, el valor del coeficiente U del conjunto del hueco⁶⁵⁹ en el contexto E3.0 se sitúa en $U = 0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$, que resulta superior al valor de $U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ que usa ya en la actualidad el estándar Passiv Haus. Por estos motivos podemos afirmar que el acristalamiento considerado para el contexto E3.0 representa una aproximación muy conservadora del potencial que podríamos esperar para el año 2050 en este componente.

vidrio y marco. Mientras no indiquemos lo contrario, el valor del U que mostraremos es el del conjunto del hueco.

- 649** SHGC: Solar heat gain coefficient. También denominado coeficiente "g".
- 650** Los valores representados en esta figura recogen la mejor tecnología disponible. A modo de referencia, en la actualidad, y a pesar de la dispersión entre distintos productos, el orden de magnitud de los coeficientes U para acristalamientos típicos disponibles en el mercado (sin ser la mejor tecnología disponible) son de $U_v = 5,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ para un acristalamiento sencillo, $U_v = 3 \text{ W/m}^2\text{K}$ para un acristalamiento doble, y $U_v = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ para un acristalamiento doble con recubrimiento bajo emisivo.
- 651** Como comentábamos más arriba, elementos pasivos tradicionales como los voladizos u otras protecciones solares pueden desempeñar también parte de estas funciones de complemento para modificar estacionalmente los coeficientes efectivos del hueco, pero por lo general conllevan un compromiso entre sus efectos positivos y efectos negativos colaterales. Sin embargo, estos elementos pasivos tradicionales deben jugar un papel importante en el proceso de transición hacia el contexto E3.0.
- 652** Los cristales termocrómicos modifican su SHGC en función de la radiación solar que incide sobre ellas.
- 653** Los cristales electrocrómicos modifican sus características (fundamentalmente su SHGC) en función de una señal eléctrica.
- 654** El objetivo de este programa es alcanzar edificios comerciales cero neto viables económicamente para el año 2025 (ZEB), y residenciales en 2020 (ZEH). La definición que emplean de edificios de consumo cero neto es la de edificios que generan tanta energía como consumen, combinando medidas eficiencia con capacidad generación local de acuerdo con tecnologías renovables.
- 655** En el programa Net-Zero Energy Commercial Building Initiative del US DOE anteriormente comentado, cuentan con que para el año 2015 el control dinámico de las ventanas ya permitirá variar la transmitancia luminosa entre el 65% y el 2% y el SHGC entre 0,53 y 0,09.
- 656** Por ejemplo cuando no hay sol para realizar aportes pasivos a la cobertura de la demanda de calefacción o a los requerimientos de iluminación.

Figura 304. Capas y características del acristalamiento empleado para el contexto E3.0⁶⁶⁰.

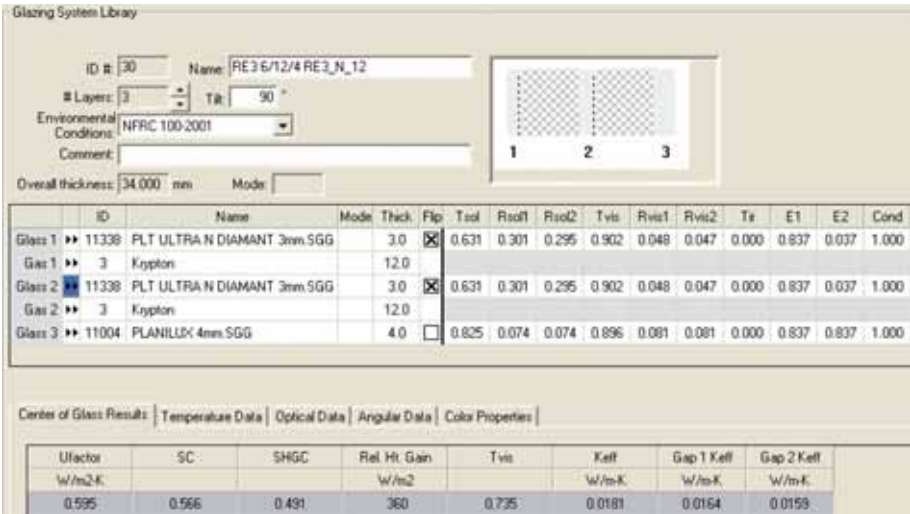
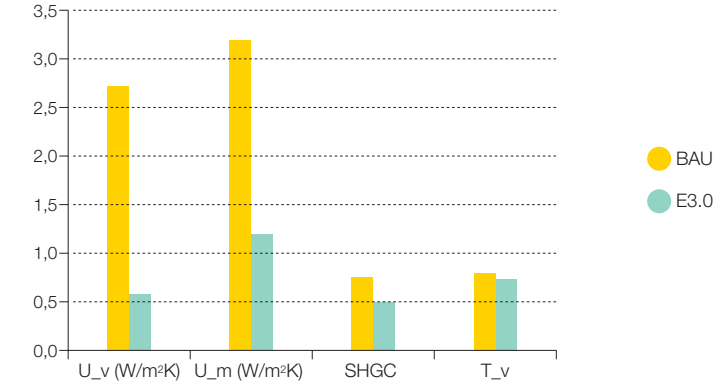


Figura 305. Comparativa entre las características de los elementos del hueco en los contextos BAU y E3.0 (U_v = coeficiente U del vidrio; U_m = coeficiente U del marco; T_v = transmisividad de la radiación visible).



Adicionalmente al acristalamiento, los huecos del edificio cuentan con un marco para integrar ese acristalamiento, y a menudo con una serie de puentes térmicos asociados a la inserción del hueco en el resto de la envolvente y a la unión marco-vidrio. También para el caso del marco

hemos introducido una mejora de cara al contexto E3.0. En la figura 305 presentamos una comparación de las principales características del hueco en el contexto E3.0 y lo que podría ser una tecnología representativa del contexto BAU⁶⁶¹ para el conjunto del parque de edificios.

657 Lo cual constituye un enfoque conservador, pues conduce a unas prestaciones del acristalamiento peores a las que cabría esperar con el tendencial de desarrollo de esta tecnología. En parte compensamos esto considerando un acristalamiento triple, pero como veremos, a pesar de ellos las prestaciones resultantes del acristalamiento son peores de las que se proyectan ya de cara al año 2015.

658 En efecto, al disponer de elementos dinámicos con capacidad de proporcionar protección solar en los momentos en que sea necesario, el estado no perturbado del acristalamiento debe tener elevados valores del SHGC para maximizar su capacidad de aporte solar para cubrir la demanda de calefacción y no perjudicar su transmisividad luminosa para contribuir a la iluminación natural.

659 Ponderación de los valores de vidrio y marco e incluyendo los puentes térmicos de unión vidrio-marco y pared-marco.

660 Generado con el programa WINDOW del LBNL.

661 Realmente, para la mayoría de los modelos de edificios empleados, el BAU es ligeramente distinto a este acristalamiento y marco que presentamos aquí (viene definidos por std 90.1-2004). Pero básicamente lo que define la tecnología del hueco en el caso BAU es un acristalamiento doble con aire en la cámara interior, y un marco metálico con rotura de puente térmico.

Por último, la característica diferencial del contexto E3.0 frente al contexto BAU es el dotar de inteligencia a los huecos del edificio, con capacidad de alterar sus coeficientes U y SHGC de forma dinámica según las necesidades de climatización de los espacios interiores del edificio.

3.7.6.2 Iluminación

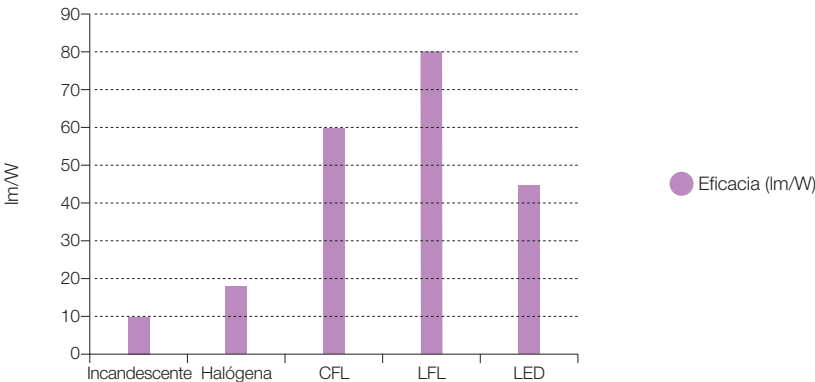
La iluminación de los espacios interiores de los edificios constituye un elemento importante de la demanda de energía de este sector, que actualmente incluso puede dominar la estructura de la demanda energética del edificio en situaciones donde se requieran elevadas iluminancias de los espacios durante periodos de tiempo muy prolongados.

A lo largo del tiempo hemos visto evolucionar de forma significativa la eficacia de las tecnologías empleadas para cubrir la demanda de iluminación⁶⁶², pero también hemos visto

crecer la demanda de iluminación. Afortunadamente todavía disponemos de un importante margen de mejora de las eficacias luminosas de las lámparas y de los rendimientos de las luminarias empleadas, a lo que se debe unir la introducción de la iluminación natural⁶⁶³ y de los elementos de inteligencia⁶⁶⁴ para reducir de forma muy importante el consumo de energía asociado a la iluminación.

Las eficacias luminosas de las lámparas que actualmente encontramos en el mercado son todavía bastante bajas respecto al potencial tecnológico. En la figura 306 recopilamos valores medios de las eficacias luminosas de un muestreo realizado en enero de 2010. En ella podemos observar cómo los tubos fluorescentes proporcionan actualmente los mejores niveles de eficacia⁶⁶⁵, mientras que las lámparas LED⁶⁶⁶, se encuentran significativamente por debajo. Sin embargo, ya existen algunos productos de tecnología LED en el mercado que alcanzan niveles de eficacia comparables a los de los tubos fluorescentes, y su potencial

Figura 306. Valores medios de la eficacias luminosas de lámparas comercialmente disponibles en un muestreo del mercado realizado el 1/2010. (CFL: lámpara fluorescente compacta; LFL: lámpara fluorescente lineal; LED: diodo emisor de luz).



⁶⁶² Por ejemplo, en EE. UU., antes de la crisis energética del 1974, era habitual diseñar los edificios de oficinas con potencias de iluminación superior a 50 W/m², mientras que actualmente un buen diseño puede estar por debajo de los 10 W/m².

⁶⁶³ Tanto desde las ventanas y lucernarios, como mediante los tubos de luz y la fibra óptica que permiten llevar la iluminación natural hasta espacios interiores de los edificios.

⁶⁶⁴ Entre los que se encuentra la diferenciación espacial y ajuste de las iluminancias según requerimientos reales e instantáneos de la demanda de iluminación.

⁶⁶⁵ Pudiendo llegar a superar los 110 lm/W en los productos más eficientes.

⁶⁶⁶ De las que a menudo no se proporciona información de eficacia lumínica.

tecnológico de mejora en los próximos años puede llevar a alcanzar eficacias del orden de los 230 lm/W.

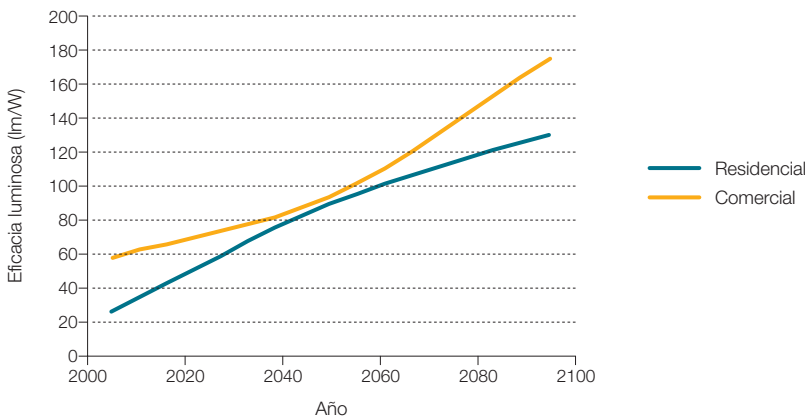
En (F. Rong, L. Clarke, S. Smith, 2007) encontramos un escenario de evolución de las eficacias luminosas del mix de tecnologías de iluminación empleado en edificios residenciales y comerciales. La figura 307 recoge este escenario. Si bien, como puede observarse, la mejora respecto a la situación actual es muy importante, pero la tendencia de mejora es prácticamente monótona⁶⁶⁷ a lo largo de todo este siglo, e indica la ausencia de mecanismos de aceleración de la introducción de medidas de eficiencia, por lo que este escenario parece poco compatible con la urgencia de intentar estabilizar el sistema climático, y la necesidad de acotar la demanda energética global. De hecho, resulta indicativo que en estos escenarios para el año 2100 se sigue suponiendo una cierta participación de las lámparas incandescentes en el mix de lámparas implementadas en ese año.

De hecho, las proyecciones del DOE⁶⁶⁸ para la evolución de la tecnología LED en los próximos años conducen a la disponibilidad de niveles muy superiores de eficacia luminosa en plazos mucho más cortos de tiempo, tal y como muestra la figura 308, con un límite de prestaciones de la tecnología LED de 230 lm/W que según esta referencia se podría alcanzar para el año 2018.

De hecho, en la literatura asociada al programa ZEB de edificios comerciales que impulsa el DOE manejan valores de eficacia luminosa del orden de 200 lm/W para el año 2025 (B. Griffith, P. Torcellini, N. Long, D. Crawley, J. Ryan, 2006).

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 el contexto de la tendencia creciente de la demanda de servicios de iluminación con el PIB. En la figura 309 reproducimos esta tendencia según ([R]E, 2008) para el caso de los

Figura 307. Evolución de la eficacia luminosa promedio del mix de tecnologías empleado para edificios residenciales y comerciales según (F. Rong, L. Clarke, S. Smith, 2007).



⁶⁶⁷ Incluso con mejores tasas de mejora hacia el final del periodo considerado en el caso de los edificios comerciales.

⁶⁶⁸ DOE: Departamento de Energía de Estados Unidos. Proyecciones del: NGLIA LED Technical Committee and the Department of Energy, Fall 2007.

edificios residenciales. En la figura 310 mostramos el impacto energético⁶⁶⁹ asociado a cubrir esta demanda de iluminación a medida que se van introduciendo distintas medidas de eficiencia.

La figura 311 agrupa la información de distintas referencias relativa a la disponibilidad comercial de tecnología eficiente de iluminación, mostrando la evolución que cabe esperar de la eficacia luminosa de las lámparas

Figura 308. Escenario de evolución de la eficacia luminosa de las lámparas LED según el DOE.

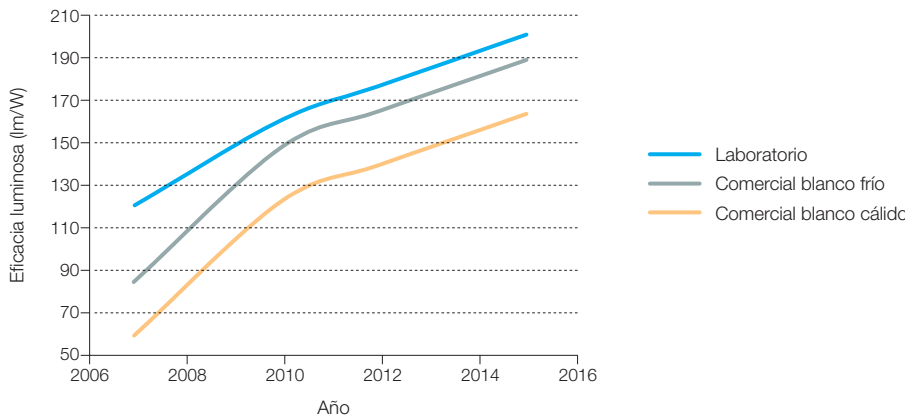
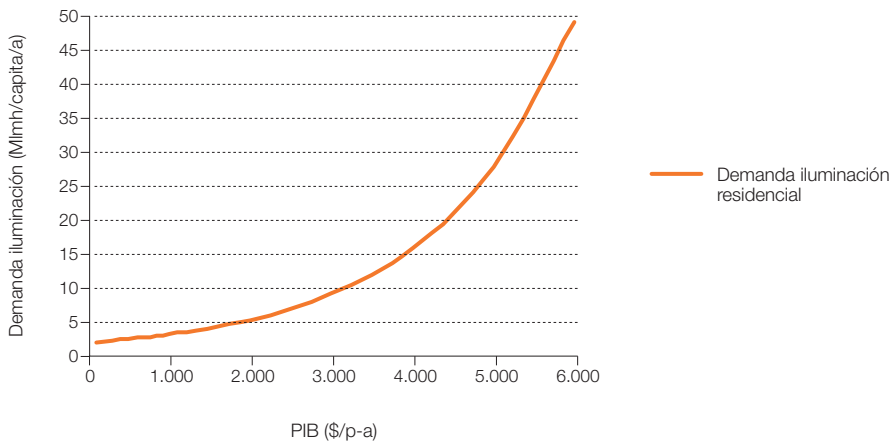


Figura 309. Tendencia del incremento de la demanda de servicios de iluminación con el PIB ([R]E, 2008).



⁶⁶⁹ Adicionalmente al consumo directo para las lámparas, las medidas de eficiencia introducidas en la iluminación de los edificios conducen a una reducción de la demanda de aire acondicionado en los edificios, que especialmente para el sector no residencial puede suponer una importante componente de la demanda, al mismo tiempo que puede incrementar la demanda de calefacción. Estos efectos de interacción entre medidas de eficiencia quedarán recogidos al elaborar los escenarios de demanda energética de los edificios mediante simulación dinámica.

Figura 310. Impacto sobre el consumo de energía asociado a satisfacer la demanda de servicios de iluminación al introducir distintas medidas de eficiencia ([R]E, 2008).

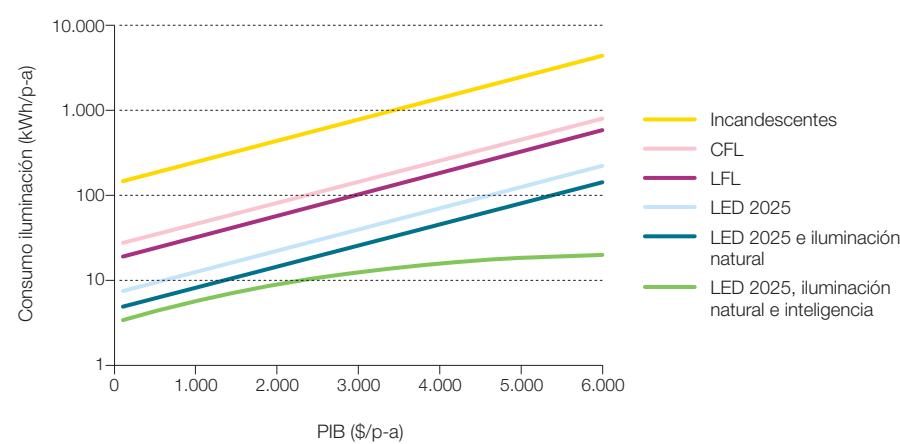
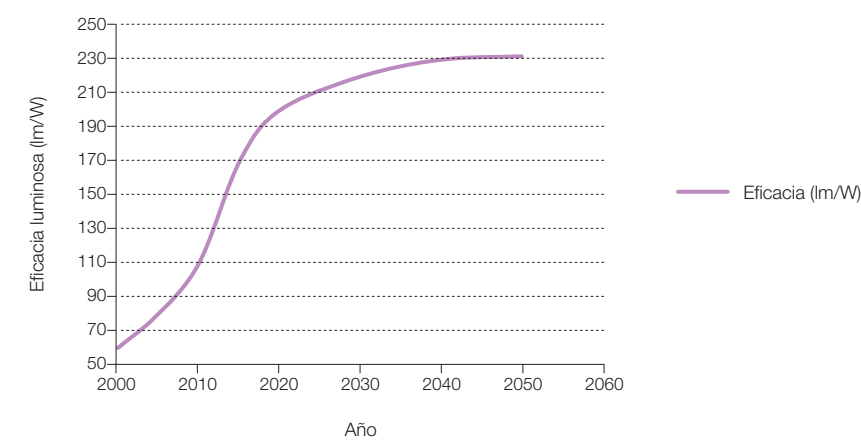


Figura 311. Disponibilidad comercial de tecnologías eficientes de iluminación.



si se incentiva la penetración en el mercado de las mejores tecnologías disponibles.

luminosas a valores máximos del orden de 110 lm/W.

Según estos resultados, para el escenario E3.0 consideraremos eficacias luminosas que irán de 180 lm/W hasta 220 lm/W según el tipo de espacios considerados, mientras que en el contexto BAU limitaremos las eficacias

En el contexto E3.0 se realizará un extensivo uso de la iluminación natural, tanto en zonas perimetrales con los elementos de acristalamiento del edificio, como en los espacios interiores mediante los tubos de luz

y la tecnología de fibra óptica. Adicionalmente, en el contexto E3.0 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 lumínicos (controles ocupación, adaptación espacio-temporal de la iluminación a las necesidades reales, etc.).

3.7.6.3 Equipamientos

Por equipamientos nos referimos a los consumos de proceso asociados a la operación de los edificios, que incorporan, por lo general, todos los electrodomésticos, ordenadores y otras cargas eléctricas, así como los equipamientos que consumen combustibles (como las cocinas), y otros equipos consumidores de energía asociados al desarrollo de la actividad del edificio considerado.

Los equipamientos de los edificios ya constituyen hoy en día un componente importante del consumo, que incluso llega a ser la dominante en algunas tipologías de edificios. Pero de cara al futuro, a medida que se vayan incorporando medidas de eficiencia en aquellos componentes de consumo del edificio sobre los que regulamos límites máximos de consumo, y a medida que vaya creciendo el requerimiento de incorporar equipamientos diversos en ciertas tipologías de edificios como los residenciales, los equipamientos irán ganando peso relativo en la estructura de consumo energético de los edificios, hasta llegar a convertirse en componentes dominantes en contextos eficientes como el E3.0 en muchas tipologías de edificios.

A pesar de esta importancia actual y con tendencia creciente de los equipamientos, en la mayoría de las ocasiones su consumo energético no se recoge dentro de la regulación

energética de los edificios ni de los indicadores empleados para describir las prestaciones energéticas del edificio. De hecho, llegamos a diferenciar entre consumo regulado y no regulado. El consumo regulado por lo general comprende el consumo de climatización y de producción de ACS, y en algunos casos⁶⁷⁰ el consumo asociado a la iluminación. Puesto que el consumo regulado está sometido a restricciones más o menos directas por parte de la regulación correspondiente, la tendencia es a que vaya reduciéndose con el tiempo. Por el contrario, la componente no regulada tendrá una tendencia a evolucionar más lentamente hacia la eficiencia, a lo cual debe añadirse la tendencia a incorporar más equipamientos en los edificios.

Incluso el estándar Passiv Haus, que sí que impone un límite al consumo de energía total del edificio, es mucho más generoso en ese límite (120 kWh/m²-a en términos de energía primaria) que en el límite que imponen sobre la demanda de calefacción (15 kWh/m²-a) que constituye la principal componente regulada en los países⁶⁷¹ donde se originó este estándar.

Pero al evolucionar hacia edificios de bajo consumo (VLEB) o incluso consumo nulo (ZEB), la importancia de las componentes no reguladas se hace patente, de tal forma que es de esperar que se vaya imponiendo poco a poco el consumo de energía total del edificio como indicador de su desempeño energético.

Hasta hace relativamente poco, las consideraciones de eficiencia no figuraban entre los principales criterios de diseño de la mayoría de equipamientos, y en la actualidad sigue siendo así para algunos equipamientos, mientras que en otros estamos asistiendo a una rápida evolución de sus niveles de eficiencia. Por tanto, en conjunto

⁶⁷⁰ A menudo, el consumo de iluminación se deja fuera de la componente regulada en los edificios residenciales.

⁶⁷¹ Alemania y Suecia.

podemos decir que existe un importante potencial de mejora en el consumo energético de los equipamientos, que se materializará tanto por una 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, eliminando los consumos de *stand-by* y otras componentes parásitas. En la web del etiquetado Energy Star⁶⁷² del DOE de los EE. UU. aparecen referenciados los requerimientos de eficiencia por encima del estándar federal, o de los equipos disponibles en el mercado que no cualifican para el etiquetado Energy Star, de distintos tipos de equipamientos, mostrando niveles de ahorro que van desde un 20% a un 90% según al equipo de referencia que sustituyan.

De cara al contexto E3.0 hemos incorporado unos 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 considerado⁶⁷³.

Por lo que respecta a los equipamientos de cocina, que en el BAU operan de acuerdo con el consumo de gas natural, para el contexto E3.0 hemos considerado su electrificación, lo que permite alcanzar niveles de reducción de potencia instalada en el aparato del orden del 50%⁶⁷⁴, 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 equipamiento⁶⁷⁵.

Estas estimaciones de potencial de ahorro de los equipamientos introducidas en este estudio 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. Dado el dominio que adquiere esta componente en la estructura de consumo en el contexto E3.0 para muchas tipologías de edificios, consideramos que sería muy interesante profundizar en los potenciales técnicos de incremento de eficiencia de las distintas tipologías de equipamientos, así como incorporar esta componente de consumo dentro de la cesta de los consumos regulados para añadir un mayor incentivo de mercado a la progresión de los niveles de eficiencia en estos elementos.

3.7.6.4 Generación de calor y frío: Bombas de calor

3.7.6.4.1 Generalidades

Uno de los elementos tecnológicos que caracteriza el sector edificación en el contexto E3.0 es la completa electrificación de la cobertura de la demanda térmica (calor, frío y ACS⁶⁷⁶). La producción de frío para climatización, tanto en la actualidad como en el contexto BAU, también se realiza con electricidad mediante el empleo de bombas de calor, al igual que la refrigeración para conservación de alimentos. Pero la producción de calor, para calefactar los edificios y para producir ACS, se encuentra dominada tanto en la actualidad como en el contexto BAU por procesos de combustión. En efecto, las calderas, mayoritariamente de combustibles fósiles, constituyen la tecnología dominante para generar calor en el sector edificación.

⁶⁷² <http://www.energystar.gov>.

⁶⁷³ Debemos resaltar que estas mejoras de eficiencia, aun quedando bien por dentro del margen de mejora disponible, son ya bastante importantes, y para su despliegue se requerirá prestar una mayor atención regulatoria a la introducción de eficiencia en estos equipos.

⁶⁷⁴ 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.

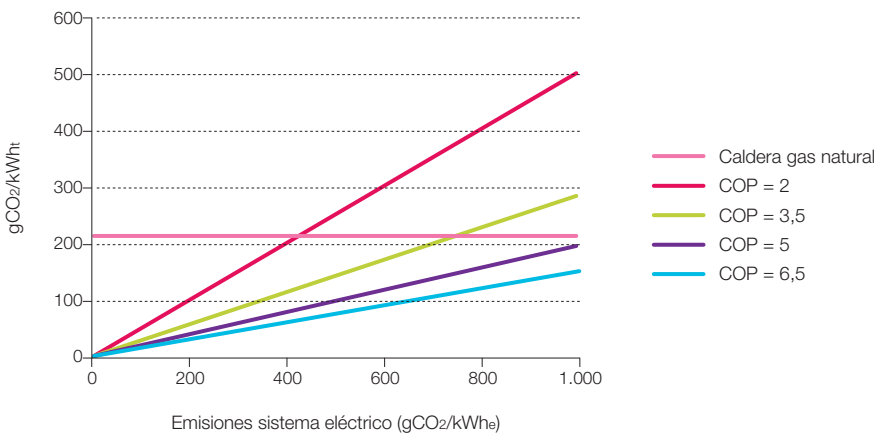
⁶⁷⁵ Dada la limitada accesibilidad a la información técnica de estos equipos, hemos optado por asumir una mejora más conservadora. Sería necesario desarrollar un estudio más específico que escape al alcance de este proyecto para cuantificar con más precisión el potencial de ahorro de estos equipamientos.

⁶⁷⁶ ACS: Agua caliente sanitaria.

La electrificación de la demanda térmica de los edificios, en el contexto E3.0, viene, por un lado, asociada al proceso de integración del sistema energético y al potencial de emplear energía eléctrica residual, procedente de la regulación de un sistema de generación eléctrica basado en las energías renovables, así como por un planteamiento de optimización de las infraestructuras de distribución energética, una vez que la demanda de climatización deja de ser la componente dominante en la estructura energética de los edificios, mientras que las componentes dominantes operan basándose en la electricidad. Pero por otro lado, la evolución de la tecnología de bombas de calor también proporciona una mayor eficiencia a la solución eléctrica que a la de combustión, lo que permite reducir la cantidad de recursos energéticos requeridos para cubrir estas demandas y las emisiones de CO₂ asociadas. En efecto, la figura 312 nos muestra las emisiones de CO₂ asociadas a la producción de energía térmica, tanto para el caso de emplear una

caldera de gas natural de elevado rendimiento⁶⁷⁷, como para el caso de emplear bombas de calor con distintos COP⁶⁷⁸, como función del coeficiente de emisiones del sistema eléctrico. Como podemos observar, a medida que se reduce el coeficiente de emisiones de CO₂ del sistema eléctrico, las bombas de calor van mejorando sus prestaciones en términos de CO₂, de tal forma que a partir de un cierto valor del coeficiente de emisiones del sistema eléctrico, tanto más elevado cuanto mayor sea el COP de la bomba de calor, la bomba de calor pasa tener unas prestaciones ambientales superiores a las de la caldera de gas natural. En el año 2008 el coeficiente de emisiones del sistema eléctrico español era de 390 g CO₂/kWh_e (CNE), y en el año 2009 ya se situó en 270 g CO₂/kWh_e (CNE), por lo que incluso una bomba de calor relativamente ineficiente⁶⁷⁹ con un COP = 2, ya desde el año 2008 resultaba más ventajosa que una caldera de gas natural. Como veremos a lo largo de este punto, el potencial de mejora de la eficiencia de las bombas

Figura 312. Evolución de las emisiones específicas por unidad de energía térmica útil proporcionada de las calderas de gas natural y de bombas de calor con distinto COP, en función del coeficiente de emisiones del sistema eléctrico.



677 95% de rendimiento medio estacional.

678 COP (Coefficient Of Performance) es el parámetro empleado para caracterizar la eficiencia de una bomba de calor, y se define como el cociente entre la potencia calorífica útil que proporciona, y la potencia eléctrica que consume.

679 Un COP = 2, si fuera en condiciones nominales de diseño, correspondería a una calificación energética clase-G (la peor de toda la escala) según el RD 142/2003 que regula la calificación energética de estos equipamientos. La clase-A se alcanza con COP > 3,6. De cara a los valores presentados en esta figura, el COP es el valor estacional medio, pero ya hay equipos de bomba de calor disponibles en el mercado, que mediante el empleo de las tecnologías de flujo de refrigerante variable y de la recuperación interzonal, permiten incrementar significativamente el COP en condiciones de carga parcial respecto al COP de diseño.

de calor es muy elevado, de tal forma que en un contexto E3.0 podríamos alcanzar valores superiores a $COP = 6,5$, lo que conduciría a una gran reducción de las emisiones asociadas a la generación de energía térmica incluso con un sistema eléctrico como el actual.

En un contexto E3.0, el coeficiente de emisiones del sistema eléctrico es cero⁶⁸⁰ (generación basándose 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 térmica⁶⁸¹.

La mayoría de la energía térmica útil proporcionada por una bomba de calor procede de la energía térmica contenida en el ambiente, que actúa como foco frío o caliente, por lo que la electricidad consumida por la bomba constituye una pequeña fracción⁶⁸² de este aporte térmico. Este es el motivo de que el parámetro de eficacia que se emplea para caracterizar el comportamiento de la bomba de calor (COP) tenga un valor superior al 100%.

Las bombas de calor trasvasan (bombean) calor desde un foco frío a un foco caliente, mediante la modificación del nivel de presión de un fluido de trabajo interno que evoluciona de forma cíclica experimentando distintos procesos termodinámicos⁶⁸³. Según aprovechemos 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 para proporcionar simultáneamente frío y calor útiles, con lo que su COP se incrementa de forma muy importante. Este modo de trabajo puede emplearse, por ejemplo, para producir ACS simultáneamente a refrigeración, o para cubrir demandas simultáneas de frío y calor en algunas tipologías de edificio, o bien

mediante acumulación térmica cubrir demandas de frío y calor no simultáneas.

Respecto a los fluidos de trabajo empleados por las bombas de calor, en el origen de esta tecnología eran fluidos naturales⁶⁸⁴. Posteriormente⁶⁸⁵, surgieron los CFC, que resultaron fluidos de trabajo muy apropiados para la implementación de los ciclos de trabajo de estos equipos, para permitir la diseminación de sus aplicaciones tecnológicas (especialmente refrigeración y aire acondicionado). Recientemente, los CFC se han eliminado por su impacto en el agujero de la capa de ozono, y fueron sustituidos en primera instancia por los HCFC ahora también en proceso de eliminación, y más recientemente por los HFC, para los que también debería plantearse un proceso de eliminación por su impacto como GEI⁶⁸⁶. Actualmente estamos asistiendo al retorno de los fluidos refrigerantes naturales, como el isobutano para los refrigeradores, y el propio CO_2 para bombas de calor avanzadas⁶⁸⁷. En el contexto E3.0, el despliegue de la tecnología de las bombas de calor lo entendemos apoyado en el uso de estos refrigerantes naturales.

Por lo que respecta a la eficacia de las bombas de calor es preciso tener presente que sus prestaciones se ven fuertemente afectadas por los niveles térmicos de los focos frío y caliente. Esto justifica los distintos valores de COP y los potenciales de mejora que encontramos en distintas aplicaciones (producción de frío, calefacción, refrigeración de alimentos, producción de ACS, etc.). De igual forma, esta característica de las bombas de calor recomienda, en los sistemas de climatización, modificar las tecnologías de distribución de la energía térmica para favorecer las condiciones de trabajo del equipo de generación, y pasar de los emisores convencionales basados en procesos de transferencia

680 Esta afirmación es rotunda en el caso de que la biomasa tenga una pequeña participación en el sistema de generación eléctrica, de tal forma que no se quemara biomasa que podría haberse empleado con otra finalidad, que proporcione una mayor eficacia en la fijación de CO_2 atmosférico (como la elaboración de elementos estructurales para la edificación, muebles, o aislamientos térmicos). En el caso de que la biomasa se empleara de forma más extensa en el sistema de generación eléctrica, para mantener esta neutralidad sería preciso que el recurso de biomasa empleado quedara directamente vinculado a plantaciones adicionales a todos los otros usos de mayor eficacia de fijación de CO_2 .

681 En estas condiciones, desde el punto de vista de las emisiones de CO_2 el COP de la bomba de calor es irrelevante, pero no lo es desde el punto de vista de la energía necesaria que condiciona los recursos a emplear para configurar el sistema 100% renovable.

682 De hecho esta fracción es $1/COP$.

683 En concreto, los cuatro procesos fundamentales que experimenta el fluido de trabajo de las bombas de calor son los de compresión, condensación, expansión y evaporación.

684 Como el amoníaco.

685 En torno a 1930.

686 GEI: Gases de efecto invernadero.

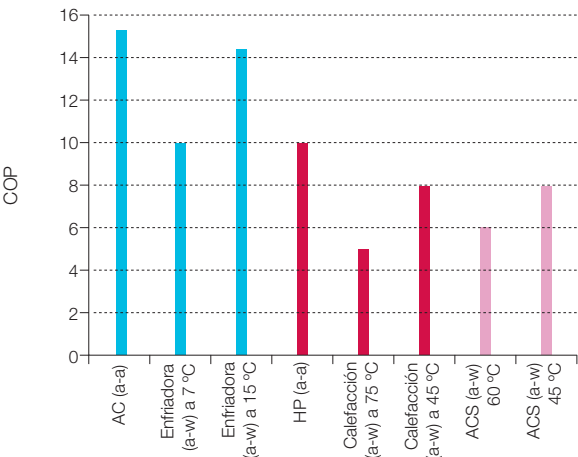
687 Bombas de calor como las de la línea EcoCute que se ha introducido en Japón con COP superiores a los de las otras máquinas del mercado, y con capacidad de trabajar a temperaturas más elevadas con rendimiento aceptable, abriendo las puertas a la tecnología de bombas de calor para las aplicaciones de generación de ACS o de calor industrial.

dominantemente convectivos, que demandan temperaturas bajas para distribución de frío (6-7 °C) y temperaturas elevadas para distribución de calor (75-80 °C), a emisores básicamente radiactivos que puedan trabajar con temperaturas menos extremas (15-18 °C para frío y 35-40 °C para calor), lo cual proporciona otras ventajas desde el punto de visto del confort alcanzable en el interior de los edificios⁶⁸⁸. En otras aplicaciones, como la refrigeración de alimentos, hay menos margen para la modificación de estas temperaturas de trabajo. Por el lado de la disipación de energía en el modo de generación de frío, la implementación de condensadores evaporativos permite reducir la temperatura del foco caliente a costa de consumir

agua. El empleo de una torre de refrigeración, o el uso de una masa de agua o una masa de tierra con condiciones térmicas más favorables⁶⁸⁹ que el aire ambiente, también conducen a una mejora del COP, pero a menudo los consumos parásitos adicionales para explotar esta otra fuente térmica más favorable, no se incluyen en el COP, y conducen a la situación en que no es posible comparar directamente los COP de distintas aplicaciones.

A modo de ejemplo, en la figura 313 recogemos los COP límites que se pueden obtener para distintas aplicaciones de bomba de calor, bajo las condiciones indicadas al pie de la figura⁶⁹⁰. Como podemos observar, eligiendo

Figura 313. Valores límite del COP de bombas de calor en distintas aplicaciones sin procesos recuperativos. AC = acondicionador de aire (bomba de calor trabajando en modo frío); HP = bomba de calor en modo calefacción; a-a = bomba de calor aire-aire (trabaja entre el aire ambiente y el aire dentro del edificio); a-w = bomba de calor aire-agua (trabaja entre el aire ambiente y un circuito de agua para distribución de la energía térmica dentro del edificio); decremento de temperatura del aire de impulsión en modo refrigeración = 10 °C; incremento de temperatura del aire de impulsión en modo calefacción = 15 °C; Temperatura ambiente de condensación en modo frío = 35 °C; Temperatura ambiente en modo calor = 5 °C.



⁶⁸⁸ Como ejemplo, trabajando en modo calor, una bomba de calor aire-agua (es decir, que coge energía térmica del aire ambiente y la transfiere a un circuito de agua a mayor temperatura) puede suministrar agua caliente a 75-80 °C a un circuito de lo que comúnmente se denominan radiadores (pero que realmente son convectores, pues la mayor parte de transferencia térmica al espacio que climatizan se produce por convección al flujo de aire que se origina por la activación térmica que supone la presencia de ese elemento a temperaturas relativamente elevadas), que es el sistema de distribución de calor más común en el parque de edificios residenciales actual. En estas condiciones de trabajo, la bomba de calor debe "bombear" la energía térmica del ambiente a unos 5 °C hasta los 80 °C del circuito de agua de los "radiadores", lo cual implica un salto térmico elevado y conduce a valores relativamente bajos del COP (es decir, el "bombeo" de un "desnivel" térmico tan grande consume mucha electricidad). Pero esa misma bomba de calor también puede usarse para suministrar agua caliente a 35-40 °C a un sistema de distribución del calor por radiación, como los suelos o muros radiantes (que realmente distribuyen la energía por radiación, pues debido a su menor nivel térmico no activan el movimiento del aire en el espacio, por lo que la transferencia convectiva es muy inferior a la radiativa). En estas condiciones, la bomba de calor debe "bombear" la energía térmica del ambiente a unos 5 °C hasta los 40 °C del circuito de distribución radiante, es decir, un "desnivel" térmico muy inferior, lo cual conduce a un COP mucho más elevado y a un consumo de electricidad muy inferior para cubrir esa demanda de calefacción. Los denominados sistemas de hilo radiante, también distribuyen la energía de forma radiante, pero a diferencia de los suelos, muros o incluso techos radiantes con distribución mediante agua no pueden acceder al incremento de eficiencia que proporciona una bomba de calor, pues constituyen un efecto resistivo puro (efecto Joule). Por este motivo los hilos radiantes no los consideramos en el contexto E3.0.

⁶⁸⁹ Como en las aplicaciones geotérmicas.

⁶⁹⁰ Uno de los elementos mediante los que se distinguen las distintas tecnologías de bomba de calor son las condiciones en

los niveles térmicos adecuados para distribuir la energía, el potencial de mejora del COP de las bombas de calor respecto a los valores actualmente disponibles en el mercado europeo, es muy importante⁶⁹¹. Y adicionalmente, las aplicaciones recuperativas mediante el aprovechamiento simultáneo de los flujos de calor en evaporador y condensador, pueden conducir a valores más elevados del COP. También es preciso apuntar que con las tecnologías apropiadas⁶⁹² el comportamiento a carga parcial de las bombas de calor conduce a valores del COP muy superiores a los valores de diseño⁶⁹³.

Una opción para mejorar las prestaciones de las bombas de calor es emplear focos fríos de mayor temperatura en régimen de calefacción, y focos calientes de menor temperatura en régimen de refrigeración. Las bombas de calor geotérmicas buscan este objetivo al sustituir el ambiente exterior por el terreno como foco frío en régimen de calefacción y como foco caliente en régimen de refrigeración, para lo cual requieren la instalación de un intercambiador de calor con el terreno. A pesar del incremento en potencia parásita de bombeo para desarrollar el proceso de intercambio en el intercambiador geotérmico, en condiciones favorables, la mejora de las características térmicas del terreno frente al ambiente exterior proporciona una ventaja significativa de los COP⁶⁹⁴. Sin embargo, para que esta ventaja se mantenga a lo largo del tiempo es preciso que la descarga térmica del terreno en régimen de calefacción sea comparable a su recarga térmica en régimen de refrigeración, lo cual exige que las demandas de calefacción y refrigeración del edificio se encuentren equilibradas, situación que no se da en muchos emplazamientos climáticos de España. En el caso de que no se dé esta condición de equilibrio entre cargas de calefacción y refrigeración, las prestaciones de la bomba de calor se irán degradando a lo largo del tiempo

para el régimen de climatización dominante, y afectarán a la rentabilidad de la inversión en el intercambiador de calor con el terreno (GHTX). Una opción para superar esta limitación en los emplazamientos en los que domine el régimen de calefacción es el plantear un sistema solar térmico con almacenamiento estacional en el terreno que la bomba de calor va a usar como foco frío en temporada de calefacción. Este planteamiento permitiría un mejor aprovechamiento de la capacidad de los sistemas solares térmicos en temporada de verano, pero a no ser que el sistema solar térmico ya fuera contemplado para otra aplicación, incrementa significativamente la inversión en el sistema de climatización. Por otro lado, desde la perspectiva del conjunto del parque de edificios, aquellas aplicaciones en las que resulte viable la instalación de un GHTX resultan relativamente limitadas, lo cual es especialmente cierto en la rehabilitación energética del parque de edificios. Por último, teniendo en cuenta que el objetivo del contexto E3.0 es limitar la demanda de climatización hasta reducirla a valores muy bajos con el fin de no sobrecargar los requerimientos de generación y transporte del sistema eléctrico, la cobertura de esas pequeñas demandas residuales de climatización difícilmente justifica el realizar inversiones muy elevadas. Como consecuencia de estas consideraciones, en este estudio no hemos incorporado explícitamente las bombas de calor geotérmicas en el desarrollo de los escenarios E3.0, lo cual no quita para que esta tecnología pueda jugar su papel tanto en la transición hacia el contexto E3.0 como en el nicho de aplicaciones que puedan quedar asociadas a esta tecnología de cara al año 2050.

3.7.6.4.2 Generación fría

La regulación en Japón de los equipos de aire acondicionado es un ejemplo de cómo se

las que se encuentran los focos frío y caliente entre los que trabajan, pues ellos condiciona fuertemente los niveles térmicos y las características de transferencia desde estos focos al fluido de trabajo de la bomba de calor. En este sentido se habla de sistemas aire-aire (a-a), aire-agua (a-w ; w = water) y agua-agua (w-w), a lo que habría que añadir los sistemas geotérmicos que son tierra-agua (g-w ; g=ground).

691 Los elementos tecnológicos sobre los que es preciso trabajar para acercarse a estos niveles de prestaciones nominales de los equipos de bomba de calor son: dimensionado adecuado de intercambiadores de calor, rendimiento de compresores y ventiladores, recuperación energía expansión, caídas de presión tanto en conductos interiores como en intercambiadores exteriores.

692 Variadores de frecuencia para operación a caudal variable.

693 En efecto, en la actualidad ya hay enfriadoras que a carga parcial alcanzan COP del orden de 20 mientras que en condiciones de diseño tienen COP del orden de seis.

694 A igualdad de tecnologías de bomba de calor.

puede articular un mecanismo de cambio rápido desde la administración. En el año 1999 introdujo las Top Runner Regulations⁶⁹⁵ (bajo el paraguas de la Energy Conservation Law), encaminadas a potenciar la mejora de la eficiencia energética de los electrodomésticos y

vehículos, con el resultado de que en 10 años han conseguido doblar el rendimiento de los acondicionadores de aire domésticos, contando en la actualidad con un mercado formado por equipos mucho más eficientes que los comercializados en Europa o EE. UU.⁶⁹⁶

Figura 314. Evolución del COP de grandes enfriadoras agua-agua (w-w) en EE. UU. y de los pequeños equipos de aire acondicionado (AC) en Japón.

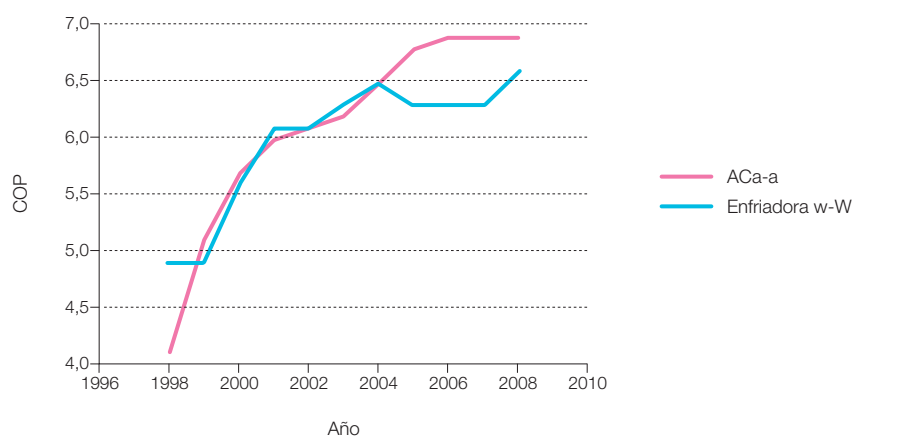
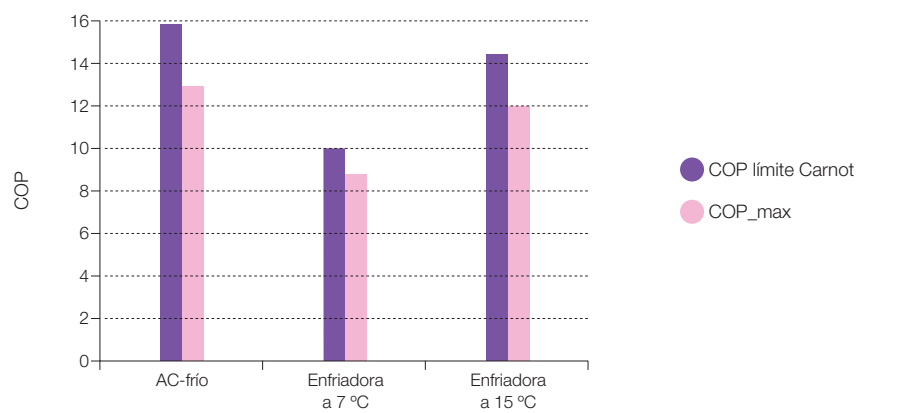


Figura 315. Valores límite termodinámico del COP, y valores máximos a alcanzar del COP considerando los saltos de temperatura requeridos para el intercambio de calor en condensador y evaporador, para distintos equipos de generación de frío. (AC = acondicionador de aire; enfriadora agua-agua).



⁶⁹⁵ Las Top Runner Regulations hacen obligatorio para las empresas que producen o importan los equipamientos por ellas contemplados, que cada año mejoren el rendimiento del mejor producto disponible en el mercado el año anterior.

⁶⁹⁶ Hasta el cuarto informe del IPCC reconoce que los equipos de aire acondicionado en Japón son mucho más eficientes que en Europa y EE. UU. En efecto: mientras los COP en Japón oscilan entre 4,5-6,2, en Europa y EE. UU. se quedan en 2,2-3,8.

En la figura 314 mostramos la evolución del COP de los pequeños acondicionadores de aire en Japón, junto con el de las grandes enfriadoras centrífugas comercializadas en EE. UU. Como puede observarse, a pesar de la gran diferencia de escala y del hecho de que los acondicionadores de aire están refrigerados por aire mientras que las grandes enfriadoras van refrigeradas por agua, el COP de ambos equipos ha seguido una evolución bastante paralela, y ha superado incluso los pequeños acondicionadores a las grandes enfriadoras en los últimos años.

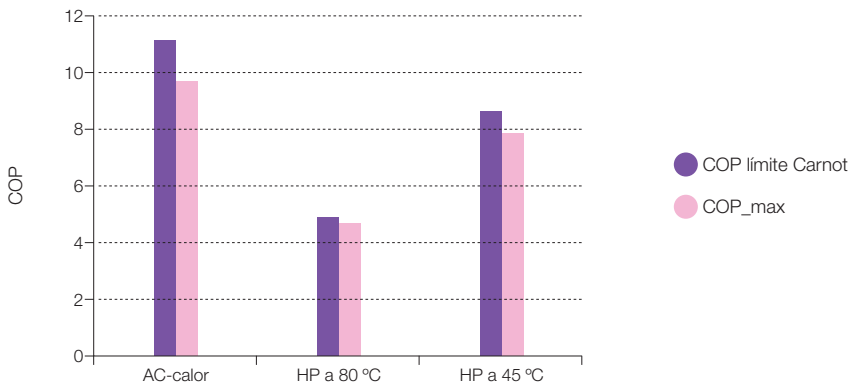
El objetivo de la regulación Japonesa no se para aquí, y en (Cool-Earth Innovative Energy Technology Program, 2008), manifiestan los objetivos⁶⁹⁷ de reducir el precio a la mitad e incrementar el COP al doble (¡COP = 14!). Nosotros hemos sido un poco más conservadores a la hora de asignar los COP del contexto

E3.0. En la figura 315 presentamos los valores límites termodinámicos del COP, así como los valores máximos a alcanzar, considerando unos saltos de temperatura en evaporador y condensador que permitan desarrollarse la transferencia de calor. Para el contexto E3.0 hemos asignado un porcentaje (del orden del 85%) del COP_{max} mostrado en esta figura.

3.7.6.4.3 Generación calor

El uso de las bombas de calor para calefacción es hasta la fecha mucho más limitado que su aplicación para aire acondicionado. Incluso en Japón, donde los equipos de aire acondicionado constituyen una tecnología ampliamente diseminada y con una gran evolución tecnológica respecto al resto del mundo, la aplicación para calefacción de estos equipos se encuentra mucho más limitada.

Figura 316. 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 según la tecnología de bombas de calor (AC = acondicionador de aire trabajando en modo calor; HP = bomba de calor aire-agua; HP@80 °C = bomba de calor trabajando contra un circuito de distribución de agua a 80 °C; HP@45 °C = bomba de calor trabajando contra un circuito de distribución de agua a 45 °C).



697 Ultra-high efficiency heat pump.

Uno de los motivos para este retraso en la introducción de las bombas de calor aire-aire o aire-agua⁶⁹⁸ para calefacción ha sido la degradación de prestaciones y dificultad de trabajar con rendimientos aceptables con temperaturas exteriores bajas (que son precisamente las que se encuentran en invierno). La formación de hielo en el intercambiador exterior, y los consumos adicionales asociados al proceso de desescarche han contribuido a reducir todavía más el rendimiento de las bombas de calor en condiciones de calefacción⁶⁹⁹.

Sin embargo, en la actualidad esta situación ha cambiado, y ya se encuentran en el mercado bombas de calor con capacidad de trabajar con rendimientos aceptables incluso para temperaturas exteriores muy bajas⁷⁰⁰.

En la figura 316 presentamos los COP límite termodinámico y los COP máximos teniendo en cuenta los gradientes térmicos necesarios para desarrollar los procesos de transferencia en evaporador y condensador para distintas bombas de calor (aire-aire y aire-agua). Como podemos observar en esta figura, en el caso de las máquinas aire-agua la reducción de la temperatura del circuito de agua caliente⁷⁰¹ proporciona un importante margen de mejora. Los valores implementados en el contexto E3.0 han sido un porcentaje (del orden del 85%) de los COP_{max} aquí indicados.

3.7.6.4.4 ACS

En modo de producción de ACS⁷⁰², al igual que en modo de calefacción, el uso de las bombas de calor, hasta la fecha, ha sido mucho más limitado que sus aplicaciones en acondicionamiento de aire. La reducción del rendimiento de la bomba de calor al incrementar la temperatura del foco caliente hasta las condiciones de producción de

ACS habituales (60 °C), y la dificultad de alcanzar estas condiciones de trabajo con los fluidos de trabajo empleados hasta la fecha en las bombas de calor ha limitado mucho sus aplicaciones para generación de ACS.

Sin embargo, desde hace algunos años ya se dispone en el mercado de bombas de calor con capacidad de generar ACS que se apoyan en la capacidad de proporcionar mayores gradientes térmicos a potencia reducida y aprovechan el sobrecalentamiento del gas refrigerante a la salida del compresor. Para el caso de que el modo principal de la bomba de calor sea el de refrigeración, esta producción de ACS constituye un proceso recuperativo del ciclo de trabajo de la bomba de calor, y permite incrementar de forma muy importante el COP con el que trabaja.

Pero sobre todo ha sido a lo largo de los últimos años, con el epicentro de su desarrollo una vez más en Japón, que las bombas de calor para generación de ACS están experimentando un mayor crecimiento, gracias a la introducción del CO₂ como fluido refrigerante para configurar bombas de calor aire-agua capaces de trabajar eficientemente con temperaturas mucho más elevadas en el condensador⁷⁰³. La línea EcoCute de bombas de calor con CO₂ en ciclo supercrítico, se introdujeron en el mercado japonés⁷⁰⁴ en el año 2001, y desde entonces, su rendimiento ha ido creciendo rápidamente tal y como muestra la figura 317. En producción simultánea de frío y ACS, el COP de estas máquinas es ya en la actualidad del orden de COP = 8. El gobierno Japonés se encuentra inmerso en una gran campaña de promoción de este equipo que es de esperar que haga crecer de forma muy rápida el número de unidades instaladas, activando el mercado incluso fuera de las fronteras de Japón.

698 Las máquinas aire-aire bombean la energía térmica desde el aire ambiente al aire en el interior del edificio. Las máquinas aire-agua bombean la energía térmica desde el aire ambiente hasta un circuito de agua empleado para distribuir la energía térmica dentro del edificio.

699 Las bombas de calor geotérmicas resuelven este problema sustituyendo el ambiente exterior por el terreno como foco frío, consiguiendo así temperaturas del foco frío significativamente más elevadas en los instantes en que la temperatura ambiente es muy baja.

700 Del orden de -20 °C.

701 Lo cual implica pasar de elementos de distribución convectivos (los comúnmente denominados "radiadores") a otros con predominio radiante (suelo o muro radiante).

702 Agua Caliente Sanitaria.

703 Hasta 90 °C, e incluso con temperaturas exteriores de -20 °C.

704 En Europa, y en concreto en España, la disponibilidad comercial de estos equipos es mucho más baja, pero en los últimos años ya parece que se empieza a activar el mercado.

De cara a la configuración del contexto E3.0 hemos supuesto que el ACS se produce principalmente⁷⁰⁵ mediante bombas de calor aire-agua. En la figura 318 mostramos los valores límite termodinámico del COP de estas bombas de calor, así como los valores máximos que cabría esperar al tener en cuenta los saltos de

temperatura necesarios en los intercambiadores de calor (evaporador y condensador) trabajando para la generación de ACS sin procesos recuperativos. Como podemos apreciar en esta figura los valores límite se encuentran bastante cercanos a los actualmente disponibles en el mercado si el ACS se prepara a 60 °C. Si

Figura 317. Evolución del COP de las bombas de calor de la línea Eco Cute (CO₂ como fluido refrigerante) desde su aparición en el mercado.

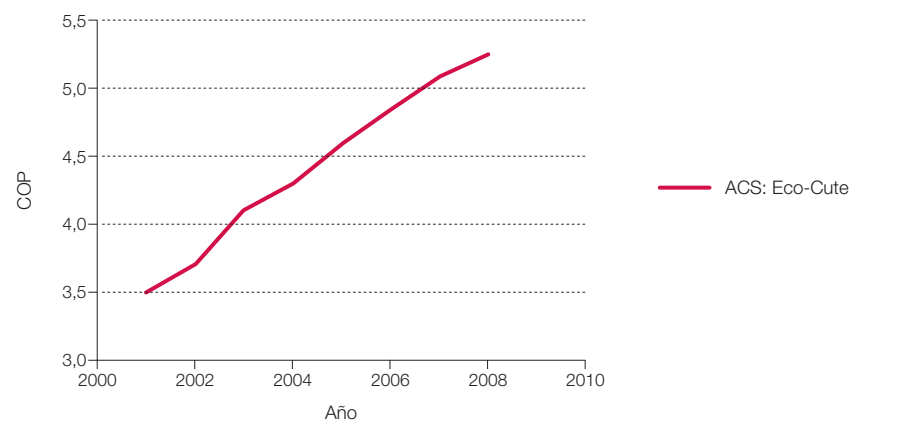
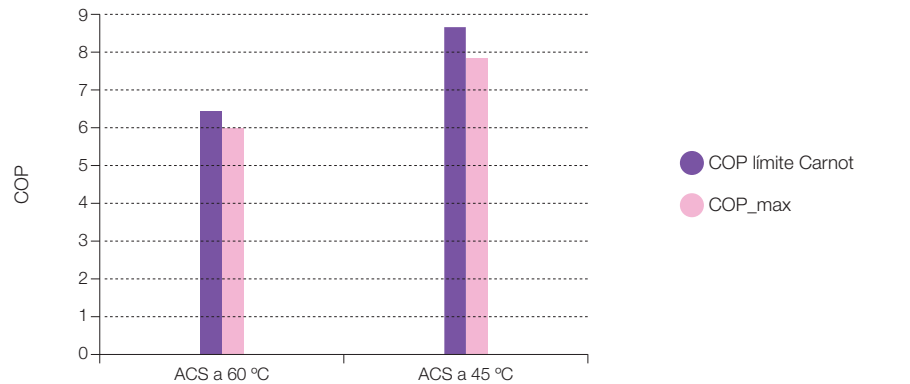


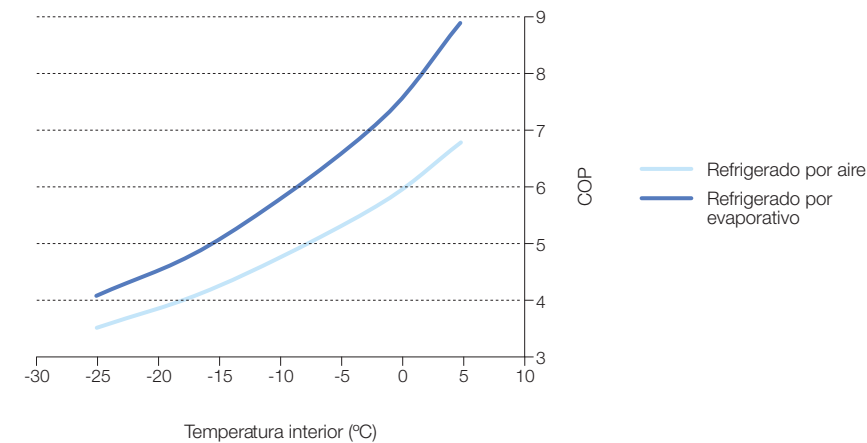
Figura 318. Valores límite termodinámico del COP y valores máximos a alcanzar del COP considerando los saltos de temperatura requeridos para el intercambio de calor en condensador y evaporador, para distintos equipos de generación de ACS.



705 Respecto a la solar térmica, pese a que en el contexto E3.0 pueda resultar más difícil de justificar que en el contexto BAU, dada la contribución que cabe esperar de esta tecnología en el proceso de transición, hemos supuesto que persisten unas coberturas solares para el conjunto del parque de edificios comparables a las del contexto BAU.

reducimos la temperatura de preparación del ACS hasta temperaturas más adecuadas para el uso sin mezcla (45 °C⁷⁰⁶) vemos que todavía existe un potencial significativo de mejora del COP. Pero es más, la capacidad de generar el ACS mediante un proceso recuperativo abre la puerta a la obtención de COP estacionales más elevados que los valores mostrados en esta figura. De forma conservadora hemos asumido un COP = 7 para el contexto E3.0 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 ACS⁷⁰⁷, en la mayoría de los casos se ha asumido igual⁷⁰⁸ en el contexto BAU que en el E3.0, y tan solo en aquellos casos en que se ha considerado que la aplicación de medidas de inteligencia pueden conducir a un ahorro en el consumo de volumen de ACS, hemos aplicado una pequeña⁷⁰⁹ reducción en la demanda de volumen de ACS.

Figura 319. COP alcanzable por los equipos de refrigeración como función de la temperatura interior, para una temperatura exterior de 40 °C y humedad relativa del 50%, tanto para el caso del condensador refrigerado por aire como para el del condensador evaporativo.



3.7.6.4.5 Aplicaciones de refrigeración comercial

La refrigeración de alimentos o medicinas es otra de las aplicaciones en las que encontramos las bombas de calor dentro de los edificios⁷¹⁰. 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.

706 Esta sería la temperatura de trabajo durante la mayor parte del tiempo, dejando para periodos esporádicos el incrementar la temperatura hasta valores más elevados con fines sanitarios.

707 Por lo que respecta al resto del consumo de agua, existe un gran potencial de mejora respecto a la situación actual a desarrollar, tanto mediante la aplicación de elementos de eficiencia (descargas limitadas, aireadores, limitadores de caudal), como por la introducción de elementos de inteligencia (controles de uso), y por la introducción de aguas recuperadas para cubrir parte de la demanda. Sin embargo, sus implicaciones energéticas en términos de energía final en el sector edificación son pequeñas, motivo por el que no se han incluido en el modelo del sector edificación (en el escenario del sector servicios, si que se reflejan algunas de estas implicaciones energéticas).

708 En términos de volumen de agua. Esta es una hipótesis conservadora que presupone que en el contexto BAU para el año 2050 se ha internalizado ya la mayoría del potencial de ahorro de ACS en términos de volumen de agua, de tal forma que la demanda de agua caliente ya se corresponde directamente con la demanda de servicio final, que en principio mantenemos igual en los contextos BAU y E3.0.

709 Del orden de E3.0/BAU = 85%.

710 Estos equipos aparecen tanto a nivel de aplicaciones de refrigeración en edificios terciarios, como en las neveras y frigoríficos de los edificios residenciales. Sin embargo, en este punto tratamos exclusivamente de las aplicaciones comerciales de la refrigeración. Las neveras y frigoríficos de los edificios residenciales quedan incorporados dentro del conjunto de electrodomésticos para reflejar su único impacto energético, que es su consumo de electricidad y la disipación de este consumo eléctrico dentro del espacio en el que se encuentran, pues a diferencia de las grandes aplicaciones comerciales, al tener el evaporador y el condensador de la bomba de calor en el mismo espacio del edificio, no producen efectos térmicos adicionales sobre el espacio en el que se encuentran.

En el contexto BAU vamos a suponer valores del COP de estas bombas de calor del orden de los actuales⁷¹¹. Pero para el contexto E3.0 vamos a explotar el potencial de mejora de estos equipos, tanto en la reducción de demanda de frío mediante la aplicación de sistemas inteligentes que minimicen las ganancias térmicas, como mediante la mejora de los sistemas de iluminación que llevan incorporados, mediante la mejora del rendimiento de los ventiladores y procesos de desescarche, y mediante la introducción de mejoras en los COP de las propias bombas de calor.

Por lo que respecta a los límites del COP que cabría esperar, la figura 319 nos los muestra en función de la temperatura interior del refrigerador para el caso de considerar una temperatura exterior de 40 °C y considerando saltos de temperatura alcanzables en los dos intercambiadores de calor con valores aceptables del área de transferencia.

En el contexto E3.0 no hemos implementado el condensador evaporativo por considerar que el consumo de agua asociado no nos compensaba la mejora en prestaciones energéticas.

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

3.7.6.4.6 Procesos recuperativos

Como hemos comentado más arriba, las bombas de calor, al manejar simultáneamente un flujo de calor con capacidad de refrigeración (evaporador) y otro con capacidad de calefacción (condensador), se prestan a la

implementación de procesos recuperativos en la propia máquina al usar simultáneamente los dos flujos de calor, bien de forma directa (coincidiendo en el tiempo las dos aplicaciones), o bien de forma indirecta mediante la acumulación de uno de los aportes térmicos hasta el momento en que se demande.

Las aplicaciones en las que podemos encontrar esta situación son:

- Producción de ACS en verano, cuando el edificio también demanda refrigeración.
- Simultaneidad de demanda de calor y frío en un mismo edificio. Esta condición puede darse, por ejemplo, en condiciones de invierno en edificios con elevada superficie de fachada acristalada y un nivel elevado de carga interna por equipamientos e iluminación, en los que puede coexistir una demanda de calefacción en las zonas perimetrales con una demanda de refrigeración en las zonas interiores. O bien en ciertas épocas del año en las que a lo largo de un mismo día puede haber demandas de calefacción y de refrigeración (requiere acumulación térmica para cubrir el desfase).
- Aplicaciones de refrigeración de alimentos en un edificio con requerimientos de calefacción.

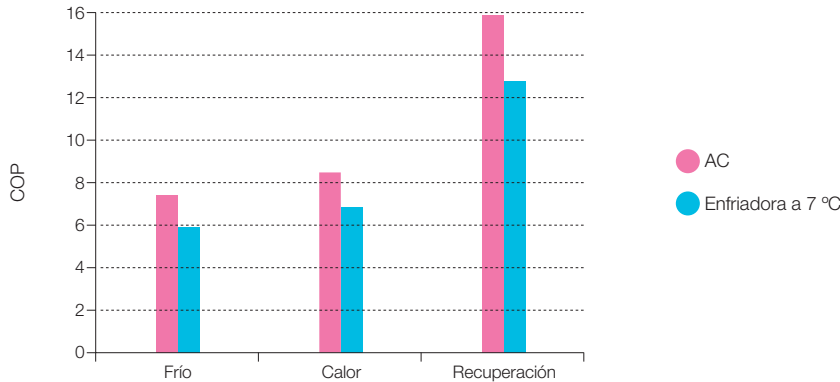
Para ilustrar el potencial de mejora de las aplicaciones de recuperación a nivel de bomba de calor, en la figura 320 presentamos un caso en el que la aplicación de calor demanda⁷¹² 55 °C, y para dos aplicaciones de frío: un acondicionador de aire, y una enfriadora de agua trabajando⁷¹³ a 7 °C. Como podemos observar, en ambos casos la presencia del proceso recuperativo conduce prácticamente a doblar el COP que individualmente se obtiene para cada una de las dos aplicaciones.

711 Que pueden oscilar entre COP = 2,5 para aplicaciones de media temperatura y COP = 1,3 para aplicaciones de baja temperatura.

712 El resultado sería más favorable si la aplicación de calor demandara temperaturas menores.

713 En el caso de que la enfriadora trabajara a 15 °C por haber recurrido a un medio de distribución del frío más favorable, los resultados de la enfriadora serían del mismo orden que los del AC.

Figura 320. Ilustración del potencial de los procesos recuperativos. AC = acondicionador de aire; decremento de temperatura del aire de refrigeración = 10 °C; temperatura de la aplicación de calor = 55 °C.



Por limitaciones de tiempo y capacidad de modelado, la aplicación de procesos recuperativos en los escenarios aquí desarrollados se ha limitado a un cierto porcentaje de recuperación en las aplicaciones de refrigeración de alimentos, y en un pequeño efecto sobre el COP de generación de ACS.

El proceso recuperativo que si que se ha implementado mayoritariamente en el contexto E3.0 y que es independiente del uso de bombas de calor, es el asociado a recuperación térmica del aire de ventilación mediante un intercambiador de calor actuando entre el flujo de aire de extracción y el de admisión.

3.7.6.5 Distribución energía térmica

La distribución de energía térmica implica al medio de distribución, a los rendimientos de los equipos empleados, y a las opciones de procesos recuperativos interzonales.

Respecto a los medios de distribución, las tres opciones son emplear como fluidos

caloportadores el aire, el agua, o el fluido refrigerante de las bombas de calor. En cualquiera de los tres casos, para transportar la energía térmica desde el centro de generación a las distintas zonas del edificio, es preciso incurrir en un gasto energético (ventiladores, bombas o compresores) que dependen tanto de la red de conductos empleada para distribuir el fluido, como de los rendimientos de los equipos empleados para impulsarlo.

Como concepto general, debido a su menor densidad y bajo calor específico, el aire resulta la peor opción para el transporte de energía. Por tanto, en un contexto eficiente conviene limitar el transporte de aire a proporcionar el aporte necesario para cubrir las necesidades de ventilación. En los edificios actuales, este caudal de aire de ventilación es significativamente inferior al requerido para el transporte de energía térmica, pero en un contexto eficiente, la demanda de climatización se puede ver tan reducida que el caudal de aire requerido para cubrir las necesidades de ventilación ya resulte suficiente para satisfacer la demanda térmica,

en cuyo caso ya no sería necesario implementar ningún medio de transporte térmico adicional.

En las situaciones en que el caudal de aire de ventilación no pueda cubrir el total de la demanda térmica, el complemento debería proporcionarse mediante el uso de agua o fluido refrigerante para realizar dicho transporte, en lugar de incrementar el caudal de aire. Estas dos opciones, además de resultar más eficientes por permitir un menor consumo de energía para el transporte del fluido caloportador, habilitan la opción de implementar la recuperación térmica interzonal dentro del edificio, de tal forma que se puedan compensar las cargas simultáneas de calefacción y refrigeración reduciendo la aportación necesaria del equipo de generación. En el caso de emplear agua como fluido caloportador, esta recuperación interzonal se consigue mediante el empleo de bombas de calor (agua-aire o agua-agua) conectadas a un circuito de agua común en el que se realiza la recuperación interzonal. En el caso de emplear el fluido refrigerante, esta recuperación interzonal se consigue mediante cajas de mezcla del fluido refrigerante.

En cualquiera de las opciones (aire, agua o fluido refrigerante), el contexto eficiente implementa sistemas de velocidad variable de tal forma que se reduzca al máximo el consumo asociado al transporte del fluido en condiciones de carga parcial.

De cara a la elaboración del escenario E3.0, dadas por un lado las limitaciones de tiempo para desarrollar los modelos, y debido al impacto relativamente limitado⁷¹⁴ de las diferencias entre estas opciones para el contexto E3.0 gracias a la gran reducción alcanzada en la demanda de climatización, en la mayoría de los casos se han empleado sistemas de distri-

bución por aire. Respecto a la mejora de eficiencia de la distribución del aire, se ha considerado una mejora del rendimiento de los ventiladores⁷¹⁵, una mejora del rendimiento de los motores eléctricos, y una reducción de la caída de presión en los conductos⁷¹⁶.

Adicionalmente, en algunos casos se han mantenido sistemas de velocidad constante, y no se han introducido sistemas de ventilación según demanda⁷¹⁷ por las limitaciones de tiempo para el desarrollo de los modelos. Por tanto, consideramos que existe potencial de mejora respecto al contexto E3.0 que hemos desarrollado, por lo que los resultados presentados deben entenderse como valores conservadores del potencial de ahorro que se puede alcanzar.

3.7.6.6 Aportación solar térmica

La regulación actual (HE4 del CTE), obliga a la implementación de un sistema solar térmico en todos los edificios nuevos, con una fracción solar en la cobertura de la demanda que oscila entre el 30% y el 70% según el emplazamiento climático y el volumen de ACS consumido. Sin embargo, las excesivas vías de excepción que deja abierta la regulación actual han conducido a que la superficie de captadores realmente instalada haya sido considerablemente inferior⁷¹⁸ a la que cabía esperar cuando salió esta regulación en septiembre de 2006. Además, dado que la regulación está estipulada en función de la superficie instalada y no de la aportación real de estos sistemas solares, las contribuciones solares que proporcionan los sistemas instalados son por lo general inferiores a los valores estipulados por la regulación.

Por otro lado, tal y como comentamos en la introducción de este informe, en un contexto

714 O incluso a la carencia de sentido de plantearse otras opciones debido a que el aporte de aire de ventilación es suficiente para cubrir la demanda en la mayor parte del año.

715 Mejora del orden E3.0/BAU = 130%

716 Mejoras del orden del E3.0/BAU = 50% asociadas a la posibilidad de emplear velocidades de distribución significativamente inferiores con el mismo tamaño de conductos como consecuencia de la gran reducción de requerimientos de caudal de aire a impulsar.

717 DCV: Demand Control Ventilation.

718 Realmente hay dos factores principales que han conducido a esta menor superficie instalada respecto a las expectativas. Por un lado, la paralización del sector de la construcción, y por otro lado, de entre aquellos edificios que sí se han construido, la aplicación de excepciones de la HE4 del CTE y la falta de control sobre la aplicación de esta normativa.

E3.0 con el sistema energético integrado y un sistema de generación 100% renovable que proporciona electricidad “residual” procedente de su regulación, y con equipos muy eficientes de producción de ACS a partir de electricidad que introducen en juego la aportación térmica del ambiente⁷¹⁹ (bombas de calor), la inversión adicional en un sistema de energía solar térmica puede quedar menos justificada que en la actualidad⁷²⁰.

Pero dado que en el proceso de transición hacia el contexto E3.0 la energía solar térmica sí que está, y seguirá jugando un papel importante, cabe esperar que en el horizonte del escenario que estamos desarrollando todavía cuente con una participación importante en la cobertura de la demanda. Por este motivo hemos retenido una aportación solar térmica en los escenarios desarrollados, aplicada de igual⁷²¹ forma a los contextos BAU y E3.0.

Según lo anteriormente comentado, la hipótesis empleada ha sido que para el conjunto del parque de edificios, para el año 2050 existirá una capacidad de energía solar térmica para producción de ACS que en media de todo el parque de edificios corresponde a un cierto porcentaje del valor estipulado en la regulación actual⁷²² para los edificios nuevos. El porcentaje implementado ha sido un 50%⁷²³.

3.7.7 Escenario demanda energética

En este punto agrupamos los resultados finales de los escenarios para el año 2050 de demanda energética del sector edificación.

Empezaremos presentando con más detalle los resultados de la tipología de vivienda unifamiliar, pues en ella hemos desarrollado algunos estudios paramétricos que posteriormente se han empleado⁷²⁴ para fijar algunos

parámetros de la envolvente para otras tipologías de edificios en el contexto E3.0.

A continuación presentamos los resultados energéticos correspondientes a las distintas tipologías de edificios empleadas para describir el parque de edificios. En cada tipología de edificio empezamos por mostrar la estructura del consumo energético para dos emplazamientos climáticos extremos (Almería y Burgos), para posteriormente recopilar los resultados, tanto BAU como E3.0, a nivel provincial⁷²⁵.

Finalmente presentamos los resultados agregados del sector edificación para la España peninsular.

Los resultados presentados en este apartado ya descuentan la aportación autónoma de la energía solar térmica para cobertura de una parte de la demanda de ACS.

3.7.7.1 Escenarios BAU y E3.0 modales

3.7.7.1.1. Residencial unifamiliar

Tal y como ya indicamos anteriormente, la tipología unifamiliar está representada por un modelo de edificio de tres viviendas adosadas de dos plantas, por resultar esta la tipología que mejor representa el resto del parque de edificios residencial no constituido por bloques de pisos.

Esta primera tipología de edificio la hemos aprovechado para desarrollar algunos análisis paramétricos destinados a definir y caracterizar las condiciones de operación del contexto E3.0. Idealmente, este tipo de estudios paramétricos deberían desarrollarse para cada tipología de edificio considerada, pues las modificaciones geométricas, de uso, y de

⁷¹⁹ La aportación térmica del ambiente que proporciona una bomba de calor, tiene también en esencia su origen en la energía solar.

⁷²⁰ Sin embargo, en el sector industrial veremos que la solar térmica cobra un mayor peso en el contexto E3.0, pues en ese sector encuentra aplicaciones donde ya no tiene la misma competencia directa de las bombas de calor y donde puede desempeñar un papel importante para ahorrar biomasa.

⁷²¹ Puesto que la regulación actual ya “obliga” a la incorporación de esta tecnología en el sector edificación, y dado el contexto de integración y electrificación del sector edificación, en principio no cabe contemplar grandes diferencias entre el BAU y el E3.0 por lo que respecta a la aplicación de esta tecnología en el sector edificación. Evidentemente el marco regulatorio se puede y debe mejorar mucho para conseguir que se vayan alcanzando los objetivos planificados de despliegue de esta tecnología, pero las modificaciones requeridas (como puede ser el establecimiento de un mecanismo tipo primas a la generación) en principio cabe esperar que ya se desplieguen en el BAU.

⁷²² HE4 del CTE.

⁷²³ Hay que recalcar que 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 suponemos que los nuevos mecanismos de incentivos de la solar térmica activarán un cierto nicho de mercado.

⁷²⁴ Lo ideal hubiera sido repetir los estudios paramétricos para cada tipología de edificio, pues las modificaciones en la geometría de su envolvente y en las condiciones de uso del edificio conducen a resultados distintos de las condiciones de diseño óptimo para cada uno de ellos. Sin embargo, debido a las limitaciones de tiempo para desarrollar este estudio,

solicitaciones internas conducen a una modificación de los resultados. Sin embargo, las limitaciones de tiempo para el desarrollo de este estudio nos conducen a adoptar como primera aproximación de las condiciones que definen el contexto E3.0 aquella obtenida de los análisis paramétricos desarrollados con la tipología unifamiliar.

La resolución climatológica empleada para desarrollar los estudios paramétricos ha sido la correspondiente a emplear la capital de provincia que considerábamos más representativa del conjunto del parque de edificios para cada una de las zonas climáticas que introduce el CTE. También en este sentido sería más apropiado desarrollar los estudios paramétricos por lo menos con un nivel de resolución provincial, pero las limitaciones de tiempo⁷²⁶ en el marco de este estudio nos han conducido a adoptar la discretización en las 12 zonas climáticas del CTE como una primera aproximación de las 47 provincias de la España peninsular.

El planteamiento E3.0 que desarrollamos para el sector de la edificación pone un especial énfasis en reducir la demanda a nivel local. El resultado es que la demanda de climatización prácticamente se puede anular, y queda dominada la demanda del edificio por los equipamientos internos puesto que la demanda de iluminación también se reduce mucho con las medidas de eficiencia aplicadas. En cuanto a disponibilidad de recurso de energías renovables sería posible cubrir la demanda de los edificios basándose en la generación renovable sin necesidad de apurar tanto la aplicación de medidas de eficiencia a nivel local, pero hay varios argumentos que nos impulsan a considerar como más apropiada la aproximación distribuida asociada a la minimización de la demanda de este sector:

- La disponibilidad de recurso renovable en España es más que suficiente para cubrir la demanda incluso en un contexto BAU para el año 2050 (sin aplicación de medidas de eficiencia adicionales) tal y como mostramos en (GP, 2006). Sin embargo, en el inicio de este informe apuntábamos el hecho de que sin una contracción en el crecimiento de la demanda, llegaría un punto más allá del año 2050 en el cual el recurso renovable disponible ya dejaría de tener la capacidad de cubrir el total de la demanda, y dejaría patente la insostenibilidad de ese modelo de desarrollo incluso si se basa en generación renovable.
- El despliegue de un sistema de generación basado en energías renovables para dar cobertura a una demanda irresponsable conduce a unos impactos ambientales muy superiores a los asociados a la aplicación de medidas de eficiencia que proporcionen una fuerte contracción de la demanda en origen⁷²⁷.
- En el contexto de la integración y electrificación del sistema energético, la ausencia de contracción de la demanda en sectores difusos dominantes como es el caso del sector de la edificación, conduciría a un gran incremento en el requerimiento de infraestructuras de transporte y distribución de energía eléctrica, con unos impactos ambientales importantes.
- El coste de los negavattios correspondientes a la aplicación de medidas de eficiencia en origen, y especialmente en un sector como el de la edificación en el que existe tanto margen de mejora, cabe esperar que por lo general⁷²⁸ resulte inferior al de la instalación de potencia de generación adicional para cubrir esa demanda más las correspondientes inversiones en incremento de capacidad de transporte y distribución.

hemos considerado como buena aproximación la extrapolación de algunas optimizaciones de parámetros de diseño desde la tipología unifamiliar a las otras tipologías de edificios para obtener una primera aproximación conservadora de la estructura energética del parque edificatorio en el contexto E3.0.

725 Por limitaciones de tiempo de cálculo, y dado que en el contexto E3.0 se regulariza mucho la distribución espacial de la demanda de los edificios, en algunas tipologías y tan solo para el contexto E3.0, hemos limitado las simulaciones a una para cada emplazamiento climático CTE distinto dentro de cada CCAA.

726 Estos compromisos asociados al volumen de cálculo implicado, tanto para las tipologías edificatorias como por la discretización climática, se dejan sentir posteriormente con algunos resultados que muestran que la solución adoptada no constituye la óptima. Sin embargo por un lado consideramos los resultados basados en estas simplificaciones como una buena primera aproximación a la caracterización y optimización del parque de edificios en el contexto E3.0, y por otro lado constituye una aproximación conservadora, dejando margen adicional para mejorar el desempeño energético de los edificios al implementar los procesos de optimización con mayor nivel de resolución (idealmente edificio a edificio en el marco de su proyecto).

727 De hecho, algunas de estas medidas de eficiencia tienen más de un impacto ambiental positivo asociado a su implementación. Así, por ejemplo, la aplicación de mayores niveles de aislamiento contribuyen, por un lado, a la reducción de la demanda, y por otro lado, si se emplean los materiales adecuados puede contribuir a reducir el CO₂ atmosférico durante periodos elevados de tiempo.

728 Realmente, la situación que cabe esperar es que la aplicación de medidas de eficiencia resulte menos costosa que el despliegue de capacidad de generación y transporte adicional hasta alcanzar un cierto nivel de eficiencia. Pero debido a que los costes marginales del ahorro se van incrementando al aumentar el nivel de eficiencia, tiene que existir un punto a partir del cual el despliegue de medidas de eficiencia adicionales resulte más caro que incorporar capacidad de generación adicional. En

Originalmente, el proceso de optimización planteado buscaría obtener una primera aproximación a la configuración óptima de la envolvente del edificio, por lo que respecta a la distribución de espesores de aislamiento y fracción de envolvente acristalada que proporcionen un equilibrio entre los requerimientos de climatización y los de iluminación artificial. Sin embargo, el potencial de mejora de la tecnología de iluminación respecto a las tecnologías actualmente dominantes en el sector residencial, junto con las posibilidades de introducir iluminación natural por otros medios que las ventanas o lucernarios⁷²⁹, hacen que, en la práctica, las interacciones entre la iluminación natural y la capacidad aislante de la envolvente sean muy limitadas, y especialmente al aplicar inteligencia a la operación de las ventanas por lo que respeta tanto a su protección frente a ganancias solares como a su capacidad aislante. Por este motivo, la relación de superficie acristalada la hemos mantenido fija en su valor inicial⁷³⁰.

Por lo que respecta al aislante, a lo largo de este informe hemos empleado una conductividad térmica de $k = 0,04 \text{ W/mK}$, como representativa de la mayoría de aislantes actuales en condiciones de uso degradadas, y hemos presentado los resultados de exigencia de aislante como espesores de aislante correspondientes a esta conductividad térmica. Hemos procedido de esta forma para proporcionar una idea de los espesores de aislante requeridos en términos comparables a los que actualmente estamos implementando. Pero el requerimiento de espesor de aislante se reduce de forma directamente proporcional a la conductividad del aislante, de tal forma que en el año 2050 no será preciso recurrir a estos espesores de aislante para obtener el mismo nivel de aislamiento. En efecto, en la actualidad ya contamos con aislantes de $k = 0,02 \text{ W/mK}$ que prácticamente reducen

los espesores necesarios hasta la mitad de los resultados presentados, y con la aplicación de la nanotecnología a los materiales aislantes, en el futuro cabe esperar que podamos disponer de materiales de construcción con menor conductividad térmica.

La función objetivo elegida para la optimización⁷³¹ de los espesores de aislante ha sido la demanda de energía final del edificio en términos de servicios energéticos requeridos, compuesta de los siguientes elementos: demanda térmica para climatización⁷³², demanda de electricidad para iluminación, y demanda de electricidad para equipamiento.

El criterio empleado para elegir el espesor óptimo de aislante⁷³³ en los estudios paramétricos que presentaremos a continuación ha sido el siguiente⁷³⁴: en el caso de que aparezca un óptimo en la función objetivo, el valor correspondiente del espesor de aislante será el elegido, y si la función objetivo presenta una evolución monótona el espesor óptimo será el anterior simulado a aquel que proporciona un ahorro incremental⁷³⁵ inferior o igual a $0,4 \text{ kWh/m}^2\text{-a}$.

Muchos de los aspectos aquí considerados para configurar el escenario E3.0 en el sector edificación están relacionados con la aplicación de inteligencia al diseño y operación de los edificios. En efecto, los edificios, de igual forma que tienen que dotarse de inteligencia para interactuar con la red eléctrica en el marco de un sistema energético integrado y electrificado apoyado en redes inteligentes, también tienen que aplicar la inteligencia de forma local para gestionar y optimizar su demanda. Son dos ámbitos de aplicación de la inteligencia, que podríamos denominar como interno y de interacción con el entorno, pero que deben ir de la mano para proporcionar el máximo beneficio al sistema energético total.

efecto, el despliegue de medidas de eficiencia está sometido a un proceso de saturación (cada vez hay menos que ahorrar y resulta más caro el conseguirlo), mientras que dado el elevado potencial de generación renovable del que disponemos en relación a la demanda del contexto E3.0, la saturación asociada al despliegue de capacidad de generación adicional (siempre y cuando se use con elevado factor de capacidad mediante la integración en un sistema inteligente) es muy inferior. Como comentábamos anteriormente, en este estudio no hemos acometido el proceso de optimización económica, considerando como buena aproximación del óptimo aquel punto a partir del cual se reducen de forma importante los beneficios energéticos de la medida de eficiencia.

729 Que de cualquier forma ven limitado su alcance a los espacios perimetrales del edificio y a las plantas superiores.

730 Para la tipología unifamiliar se ha empleado un valor del 20% para la superficie acristalada de fachada, algo superior al implementado en la tipología de bloque de viviendas.

731 Como aproximación a la optimización técnico-económica que no hemos acometido en este estudio.

732 Excluyendo por tanto el efecto del rendimiento de los equipos empleados para cubrir esa demanda térmica de climatización. El efecto de los equipos y sistemas de climatización se incorporará posteriormente para evaluar la demanda final total del edificio, actuando por tanto sobre el nivel óptimo de demanda.

733 Es preciso apuntar que los espesores óptimos de aislante mostrados en este informe no deben ser aplicados de forma general a otras situaciones. Los óptimos mostrados tienen validez tan solo desde el punto de vista de las tipologías de edificio, condiciones de uso de los edificios y la finalidad del análisis aquí desarrollado que persigue constituir una primera aproximación a la estructura energética del sector edificación en un contexto E3.0. La optimización del espesor de aislante para otra situación distinta debería apoyarse en un análisis de optimización multivariable dentro de los grados de libertad de diseño del edificio considerado, y particularizado para la geometría y condiciones de uso del edificio analizado. No deben

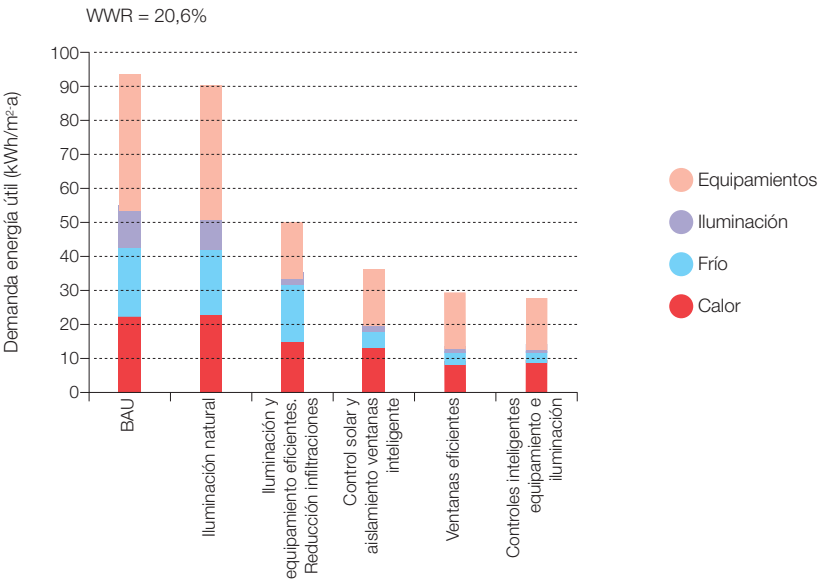
Los niveles de inteligencia “interna” que hemos implementado en las simulaciones son fundamentalmente los debidos a la optimización de la ventilación natural nocturna para refrigerar el edificio, los de gestión de la ventilación a lo largo del todo el año para no generar cargas térmicas posibles de evitar, los de protección solar dinámica de los huecos acristalados según los requerimientos de climatización del edificio, y la aplicación de aislamiento dinámico inteligente en los huecos acristalados. Existen otras medidas asociadas al despliegue de inteligencia que no se han implementado en los modelos por limitación de tiempo y de capacidad de modelado de las herramientas actuales, pero que podrían contribuir a reducir la demanda más allá de los niveles aquí reflejados, como podría ser la modificación dinámica inteligente de las

propiedades termo-ópticas⁷³⁶ de la envolvente opaca del edificio, y la aplicación de inteligencia a la interacción inercial del edificio con el suelo y con el resto de elementos inerciales de los que puede disponer⁷³⁷.

3.7.7.1.1 Efecto diversas medidas eficiencia

Con el fin de proporcionar información cuantitativa del efecto de la introducción de distintas medidas de eficiencia para el contexto E3.0, en la figura 321 presentamos la evolución de la estructura de la demanda de servicios energéticos requeridos para la tipología unifamiliar en la climatología de Madrid al ir introduciendo, de forma sucesiva y acumulada, distintas medidas de eficiencia⁷³⁸

Figura 321. Evolución de la demanda de servicios energéticos requeridos y de su estructura al ir aplicando de forma sucesiva las medidas de eficiencia que caracterizan el contexto E3.0 (WWR representa el porcentaje de superficie de huecos en las ventanas).



extrapolarse los resultados aquí presentados a situaciones distintas, pues los óptimos pueden encontrarse bastante alejados.

734 El proceso de optimización seguido, por limitaciones de tiempo y capacidad de cálculo, ha sido secuencial y no acoplado. Sin embargo, consideramos que el grado de acoplamiento entre las distintas variables consideradas, en el marco de un contexto E3.0, es relativamente pequeño, de tal forma que la optimización secuencial constituye una buena aproximación al óptimo global. Pero el orden secuencial elegido (pared → cubierta → suelo) si que puede tener un cierto efecto sobre la distribución de aislamiento entre los distintos componentes de la envolvente del edificio, desplazando los mayores espesores hacia las paredes.

Los años meteorológicos empleados han sido los correspondientes al proceso de calificación energética de edificios en España, que constituyen la única serie “oficial” de años meteorológicos tipo en nuestro país, lo cual ha hecho que los adoptemos a pesar de las limitaciones que se pueden observar en algunos de estos años meteorológicos. Tal y como comentábamos al principio de este informe, sería recomendable que la administración impulsara el desarrollo de unos años meteorológicos tipo de mayor calidad basados en datos históricos, así como de años meteorológicos para distintos escenarios de cambio climático basados en los resultados regionales de los modelos de simulación del cambio climático.

735 Este es por tanto el criterio de saturación en la rentabilidad energética de esta medida de eficiencia que hemos adoptado como aproximación a la optimización económica. A partir de este punto, seguir incrementando el espesor de aislante conlleva unos costes marginales tan elevados que cabe esperar que resulte más económico el incrementar la capacidad de generación y transporte del sistema de generación eléctrica.

736 Fundamentalmente la reflectividad solar y emisividad infrarroja.

737 Estructura, elementos de acumulación por cambio de fase, etc. Sin embargo, en este caso, el efecto sobre la demanda de la aplicación de inteligencia no cabe esperar que sea importante. Donde sí que resulta relevante este

desde el lado de la reducción de la demanda. Posteriormente, la aplicación de medidas de eficiencia desde el lado de la generación permitirá reducir significativamente la demanda de energía final⁷³⁹ respecto a los valores aquí mostrados. Como podemos observar en esta figura, la demanda de servicios energéticos se llega a reducir por aplicación de medidas de eficiencia en origen hasta llegar a ser del orden de 1/3 de la demanda BAU. Otro elemento a resaltar de estos resultados es la reducción en peso relativo de la demanda de servicios energéticos de climatización, tanto de calefacción como de refrigeración, y eso a pesar de que todavía no se han aplicado los espesores óptimos de aislante que presentaremos en los siguientes apartados. Una vez aplicados los valores óptimos de aislamiento, y si además tenemos en cuenta la elevada eficiencia de los equipos de generación implementados en el contexto E3.0 para cubrir la demanda de servicios energéticos de climatización, resulta fácil entender que en términos de energía final el consumo para climatización en el contexto E3.0 pasa a ser una componente prácticamente despreciable en la estructura energética de los edificios, que en muchas ocasiones pasan a estar dominados por la demanda asociada al uso de equipamientos.

A continuación vamos a presentar los resultados de estudios de optimización del espesor de aislamiento sobre distintos componentes de la envolvente del edificio. Idealmente estos estudios de optimización deberían desarrollarse de forma acoplada entre ellos y con otros elementos de eficiencia del contexto E3.0. Sin embargo, por limitación del alcance del estudio aquí presentado nos limitamos a mostrar una primera aproximación secuencial del proceso de optimización.

3.7.7.1.2 Espesor aislamiento paredes

Como punto de partida de los valores de aislamiento en las paredes, y si tomamos como base la solución constructiva de muro invertido⁷⁴⁰ que vamos a implementar⁷⁴¹ en la tipología de edificio unifamiliar, en la figura 322 recogemos las exigencias de la normativa actual en España (CTE), y las exigencias del estándar 90.1-2004 de ASHRAE implementado en los DOE Benchmarks que, como hemos discutido anteriormente, hemos adoptado como representativo de las condiciones BAU⁷⁴² para el año 2050 según las características del parque actual y de las exigencias normativas sobre la nueva construcción. Como podemos apreciar en esta figura, el estándar adoptado como referencia para el BAU 2050⁷⁴³ es considerablemente más exigente que la normativa actual, por lo que el BAU 2050 que estamos presuponiendo, considerando que representa el promedio del parque edificatorio en el año 2050, implica una considerable mejora respecto a la construcción nueva actual.

A continuación presentamos los resultados del estudio paramétrico sobre el espesor de aislamiento de las paredes⁷⁴⁴ en los distintos emplazamientos climáticos considerados. Los resultados los vamos a presentar en términos de demanda de servicios energéticos de climatización como demanda térmica total⁷⁴⁵, y el punto de partida es el resultante de la aplicación de medidas de eficiencia del contexto E3.0 presentado en el punto anterior⁷⁴⁶. El caso correspondiente al nivel de aislamiento BAU a menudo se puede identificar en las figuras por ser el único número con decimales⁷⁴⁷, y no constituye el menor valor de espesor de aislante considerado tanto para ilustrar la situación actual, como para dar la opción a encontrar óptimos con niveles de aislamiento inferiores a los del contexto BAU. De todas

despliegue de inteligencia es desde el punto de vista de la gestión y respuesta de la demanda a los requerimientos del sistema energético, por lo que su efecto lo incorporaremos al analizar el conjunto del sistema.

738 Como ya comentamos más arriba, algunas medidas pasivas como la forma y orientación del edificio no se han considerado en el desarrollo de los modelos del sector edificación por tres motivos principales: la necesidad de reflejar con un único modelo para cada modo la situación promedio que representa a todos los edificios representados por este modo, la dependencia de cada caso particular por las condiciones de contorno a las que se encuentra sometido (tanto climáticas como del contexto urbanístico), y las limitaciones de tiempo en el marco de este proyecto para optimizar estas variables de diseño. De esta forma, los resultados presentados son conservadores en el sentido de que la optimización proyecto a proyecto de estas variables de diseño pasivo permite alcanzar niveles de demanda inferiores para cada edificio. Por otro lado, otras medidas pasivas como los espesores de aislante, la rotura de puentes térmicos, la inercia térmica, los techos fríos, las ganancias solares, la refrigeración por ventilación nocturna, y los sistemas de protección solar, si que se han incorporado en los modelos, a menudo potenciados por la incorporación de inteligencia.

739 Un ejemplo típico es el de aplicación de bombas de calor para la cobertura de la demanda de climatización, que en un contexto eficiente permiten reducir en el orden de 10 veces (el COP de la bomba de calor) la demanda eléctrica final respecto a la demanda de energía térmica para proporcionar los niveles de confort establecidos (el servicio energético requerido), mediante el aprovechamiento de la energía térmica disponible en el ambiente.

740 El concepto de muro invertido consiste en dejar como capa exterior del muro el aislante, de tal forma que al interior del muro, en contacto con el ambiente interior, quedan las capas inerciales del muro. La ventaja de esta solución constructiva radica en la regulación térmica que proporciona el tener la inercia térmica del muro en contacto con el ambiente interior, lo cual resulta ventajoso tanto en régimen de calefacción como

Figura 322. Espesores de aislamiento (para aislante de conductividad 0,04 W/mK) requeridos por la regulación actual en España (CTE) y por la regulación que hemos adoptado como referencia para definir el escenario BAU (std 90.1-2004 de ASHRAE).

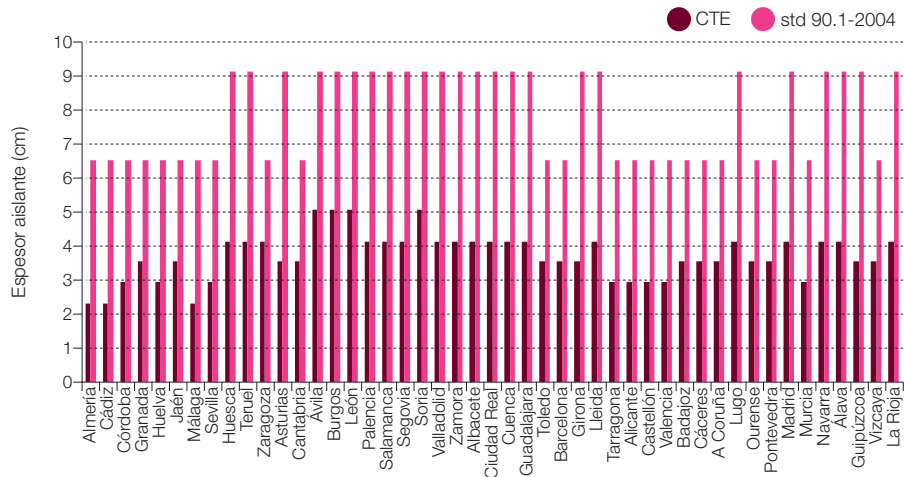
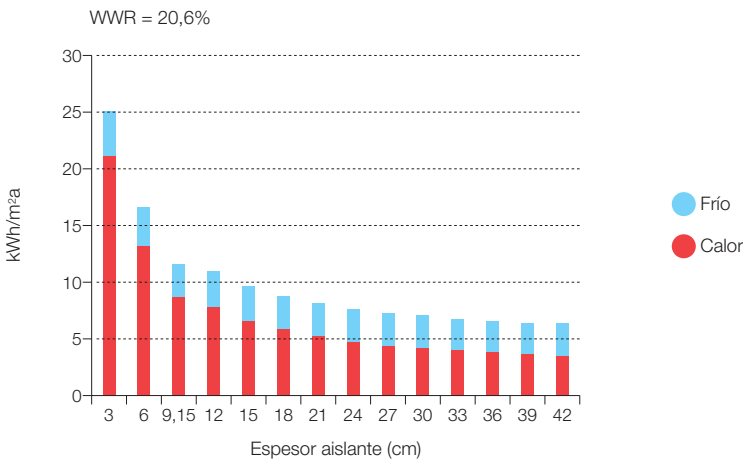


Figura 323. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) de las paredes sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Cubierta y suelo BAU. Madrid (D3). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 24 cm, mientras que el BAU implementa 9,15 cm y el CTE exige 4,13 cm.



formas, los niveles de aislamiento BAU y CTE⁷⁴⁸ aparecen reflejados en los correspondientes pies de figura.

La figura 323 reproduce los resultados para Madrid (zona D3 del CTE). Como podemos observar en esta figura, los niveles de aislamiento

de refrigeración en edificios con ocupación regular, y en el contexto E3.0 proporciona un potencial adicional de participación de la gestión de la demanda en la operación del sistema energético. La solución constructiva dominante en España, coloca la capa aislante cerca del interior del edificio, dejando la mayoría de la inercia del muro en el exterior e inaccesible para la regulación térmica del espacio interior, es decir, desperdicia toda esa capacidad inercial. En (García-Casals X., 2003-2) puede encontrarse una discusión sobre este aspecto y las distintas opciones de cerramiento. Adicionalmente, en el contexto E3.0 consideramos que se ha cuidado la rotura de los puentes térmicos de todos los componentes, y en particular del muro invertido (García-Casals X., 2004-1).

741 Debemos resaltar que el nivel de exigencia del std. 90.1-2004 depende de la tipología constructiva empleada, siendo menor para las construcciones másicas como la que nosotros supondremos para la tipología residencial, que para las tipologías ligeras como las implementadas en el DOE Benchmark de edificio residencial en bloque. Por consistencia dentro del sector residencial, para el BAU 2050 hemos adoptado los valores de aislamiento que el std 90.1 fija para las construcciones ligeras.

742 Es de resaltar que tanto para el BAU como para el E3.0 consideramos que el efecto de los puentes térmicos queda incorporado en los valores del coeficiente U de los distintos cerramientos (el coeficiente U es el que cuantifica la transmitancia térmica específica en régimen estacionario). En el caso BAU esta hipótesis implica un posicionamiento conservador en el sentido de que los valores del coeficiente U que adoptamos a partir de las regulaciones energéticas actuales no incluyen el efecto de los puentes térmicos, por lo que al incluirlo, el valor del coeficiente U del cerramiento sin puente térmico debe ser menor para que el coeficiente U total tenga el mismo valor final.

743 Que era el estándar en EE. UU. para el año 2004.

744 Idealmente la optimización de medidas de eficiencia debería acometerse mediante una formulación multivariable en la que simultáneamente se halle la combinación óptima de medidas de eficiencia, de tal modo que puedan ser retenidas las interacciones

característicos del estándar Passiv Haus tienen sentido en este emplazamiento climático, lo que permite acceder a grandes reducciones en la demanda de servicios de climatización. En este emplazamiento climático, la aplicación de niveles elevados de asilamiento permite

Figura 324. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04$ W/mK) de las paredes sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Cubierta BAU. Suelo BAU para zona D3. Almería (A4). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 9 cm, mientras que el BAU implementa 6,53 cm y el CTE exige 2,32 cm.

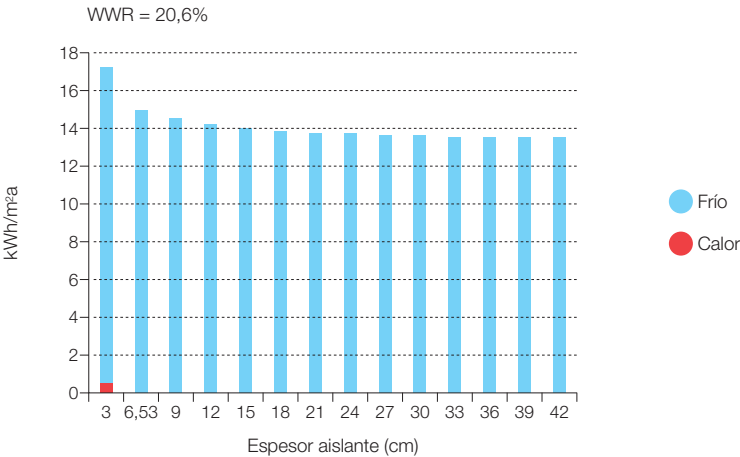
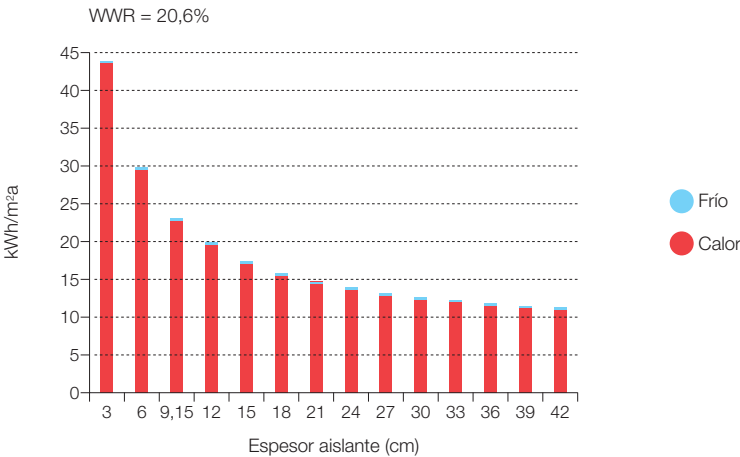


Figura 325. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04$ W/mK) de las paredes sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Cubierta BAU. Suelo BAU para zona D3. Burgos (E1). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 33 cm, mientras que el BAU implementa 9,15 cm y el CTE exige 5,08 cm.



entre las distintas medidas de eficiencia y priorizado el despliegue de aquellas con mayor rentabilidad. En el marco de este estudio no hemos acometido esta optimización multivariable y nos hemos limitado a desarrollar algunos estudios paramétricos secuenciales (primero se optimiza una variable y después otra sobre el resultado óptimo de la primera, y así sucesivamente) sobre algunas de las componentes de eficiencia. Por tanto, si bien el resultado óptimo global diferirá del aquí presentado en cuanto a participación relativa de las distintas componentes de eficiencia, en cuanto al nivel de consumo energético final del sector edificación (que constituye nuestra variable objetivo principal), no cabe esperar que haya diferencias significativas.

745 Total de frío y calor, reteniendo así posibles efectos en dirección opuesta sobre ambas demandas.

746 En este sentido conviene recalcar que el edificio en las condiciones actuales ya incorpora bastantes, aunque no todos, los elementos de eficiencia que caracterizan al contexto E3.0. En concreto, el edificio incorpora ya la iluminación y equipamiento interno eficiente e inteligente, los efectos de la iluminación natural, una refrigeración por ventilación nocturna inteligente, un sistema de ventilación inteligente, los acristalamientos eficientes (aunque los marcos de ventana son los del BAU), ventanas inteligentes por lo que respecta a sus mecanismos de protección solar, de ganancias solares, y de aislamiento dinámico, y unas infiltraciones reducidas. Sin embargo, los aislamientos de cubierta son los del contexto BAU, y para el suelo el nivel de aislamiento implementado es el del contexto BAU para el emplazamiento de la zona climática D3.

747 Correspondiente de ajustar los requerimientos del std 90.1-2004 para la solución constructiva implementada.

748 El nivel de aislamiento mostrado en estas figuras como el exigido por el CTE es el que corresponde para alcanzar un valor del coeficiente U (el parámetro que realmente limita el CTE) igual al valor límite estipulado por el CTE con la solución constructiva considerada y el tipo de aislante aplicado.

igualar la demanda de calefacción a la de refrigeración, mientras que tanto en la actualidad, como en el contexto BAU, la carga de calefacción domina la estructura de servicios energéticos de climatización. El espesor óptimo elegido es de 24 cm.

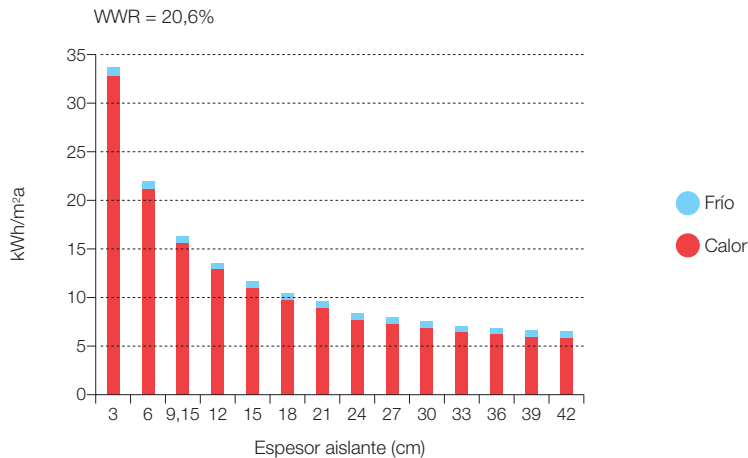
La figura 324 reproduce los resultados para Almería (zona A4 del CTE). Como podemos observar, en este emplazamiento climático de elevada severidad climática de verano, el efecto del aislamiento es mucho más limitado, de tal forma que no tiene sentido la aplicación de los niveles de aislamiento del estándar Passiv Haus. También debemos resaltar que el valor asintótico de la demanda de servicios energéticos de climatización es en este emplazamiento del orden del triple de lo que obtuvimos para Madrid. De forma general podemos concluir que la demanda de frío es más difícil de combatir⁷⁴⁹ por medios pasivos o aplicación de inteligencia que la de calor, elemento a tener en cuenta considerando que las

tendencias de cambio climático nos conducen a un endurecimiento de las condiciones de climatización en temporada de verano y a una relajación en temporada de invierno. El espesor óptimo elegido es de 9 cm.

La figura 325 reproduce los resultados para Burgos (zona E1 del CTE). En este emplazamiento de elevada severidad climática de invierno, la aplicación de niveles de aislamiento del orden de los empleados en el estándar Passiv Haus permite reducir del orden de 4,5 veces la demanda de servicios energéticos de climatización. La demanda de refrigeración experimenta un ligero incremento con el incremento del espesor de aislante, pero este efecto es totalmente despreciable frente a la reducción en la demanda de calefacción. El espesor óptimo elegido es de 33 cm.

La figura 326 reproduce los resultados para Segovia (zona D2 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 30 cm.

Figura 326. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04$ W/mK) de las paredes sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Cubierta BAU. Suelo BAU para zona D3. Segovia (D2). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 30 cm, mientras que el BAU implementa 9,15 cm y el CTE exige 4,13 cm.



749 Es preciso tener en cuenta que estos resultados ya incorporan la aplicación de medidas de inteligencia tanto a la protección solar dinámica de los huecos del edificio, como de la ventilación inteligente para sacar el máximo provecho del enfriamiento gratuito. La aplicación de inteligencia a la interacción inercial con el entorno (típicamente a través del suelo) no han sido implementadas y por tanto proporcionan un cierto margen adicional para la reducción de la demanda de servicios energéticos de frío, pero su impacto significativo está acotado a los edificios de pequeño tamaño y gran relación suelo / volumen interior, por lo que no tiene una aplicación general a todas las tipologías de edificio. Otro elemento no incorporado en el modelado es la aplicación de inteligencia a la interacción con elementos inerciales como la estructura del edificio, el uso de materiales de cambio de fase en algunas componentes del edificio, o el empleo de depósitos de acumulación térmica. Sin embargo estos elementos no proporcionan potencial para reducir la demanda de servicios energéticos de climatización, sino tan solo a desplazarla temporalmente proporcionando mayor margen para la gestión y respuesta de la demanda en la integración con el sistema energético, por lo que su consideración ya será recogida más adelante al analizar estos aspectos.

Figura 327. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04$ W/mK) de las paredes sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Cubierta BAU. Suelo BAU para zona D3. Pamplona (D1). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 27 cm, mientras que el BAU implementa 9,15 cm y el CTE exige 4,13 cm.

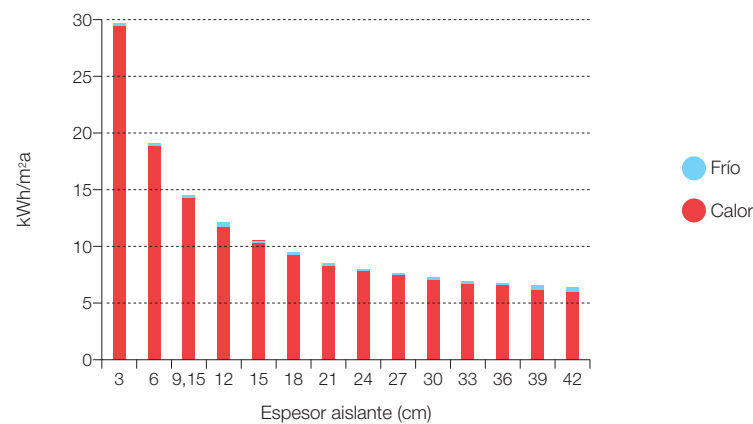
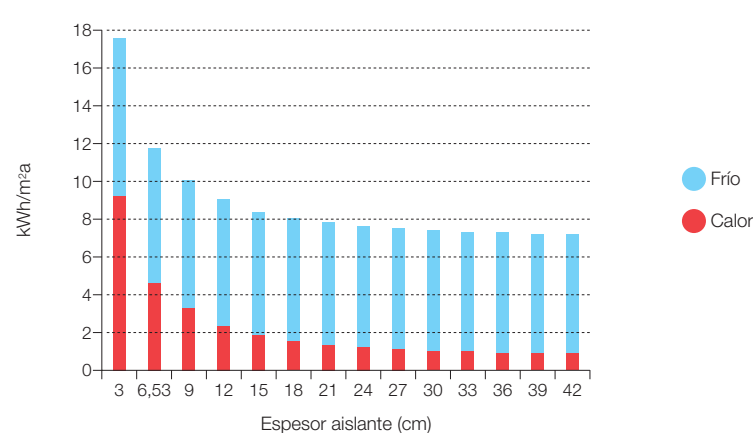


Figura 328. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04$ W/mK) de las paredes sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Cubierta BAU. Suelo BAU para zona D3. Badajoz (C4). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 15 cm, mientras que el BAU implementa 6,53 cm y el CTE exige 3,54 cm.



La figura 327 reproduce los resultados para Pamplona (zona D1 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 27 cm.

La figura 328 reproduce los resultados para Badajoz (zona C4 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 15 cm.

Figura 329. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) de las paredes sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Cubierta BAU. Suelo BAU para zona D3.Granada (C3). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 18 cm, mientras que el BAU implementa 6,53 cm y el CTE exige 3,54 cm.

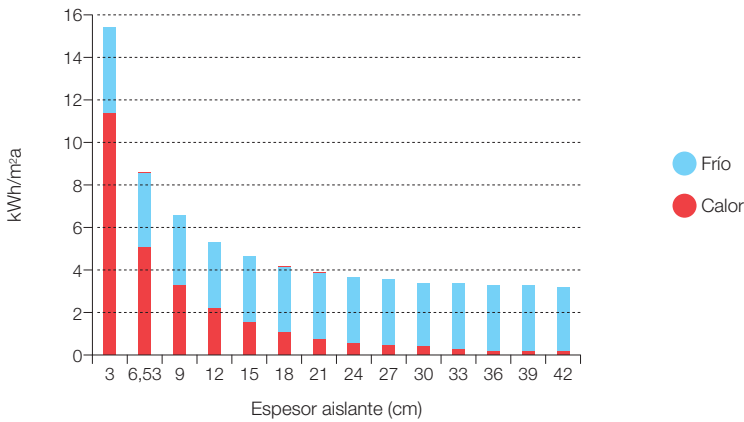
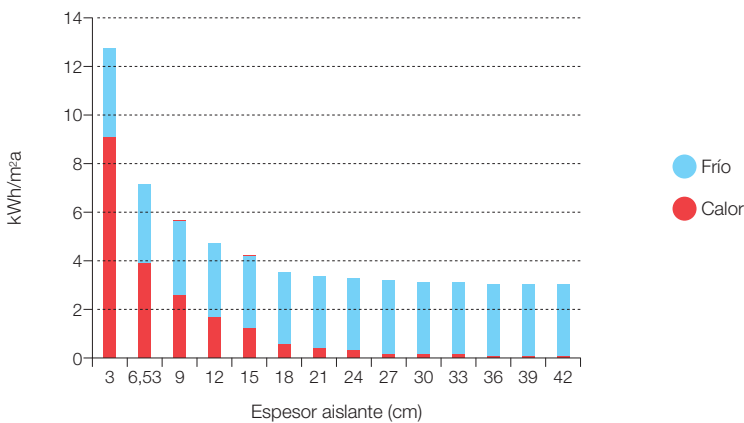


Figura 330. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) de las paredes sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Cubierta BAU. Suelo BAU para zona D3. Barcelona (C2). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 18 cm, mientras que el BAU implementa 6,53 cm y el CTE exige 3,54 cm.



La figura 329 reproduce los resultados para Granada (zona C3 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 18 cm.

La figura 330 reproduce los resultados para Barcelona (zona C2 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 18 cm.

Figura 331. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) de las paredes sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Cubierta BAU. Suelo BAU para zona D3. Bilbao (C1). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 24 cm, mientras que el BAU implementa 6,53 cm y el CTE exige 3,54 cm.

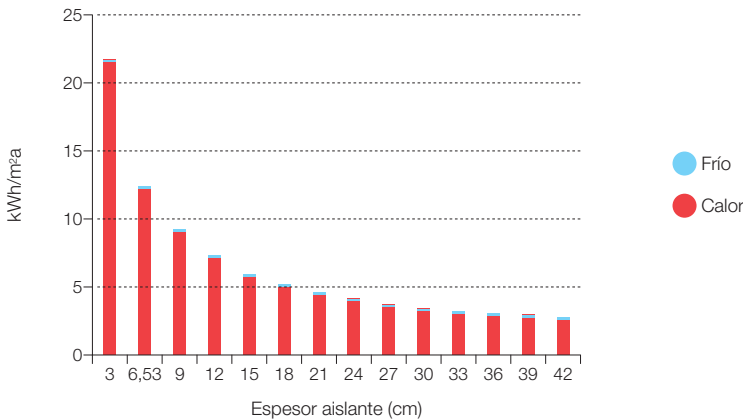
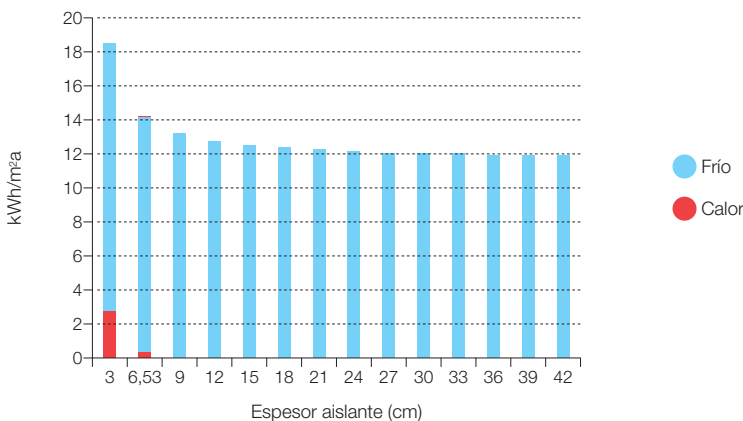


Figura 332. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) de las paredes sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Cubierta BAU. Suelo BAU para zona D3. Sevilla (B4). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 12 cm, mientras que el BAU implementa 6,53 cm y el CTE exige 2,94 cm.



La figura 331 reproduce los resultados para Bilbao (zona C1 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 24 cm.

La figura 332 reproduce los resultados para Sevilla (zona B4 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 12 cm.

Figura 333. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) de las paredes sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Cubierta BAU. Suelo BAU para zona D3. Valencia (B3). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 9 cm, mientras que el BAU implementa 6,53 cm y el CTE exige 2,94 cm.

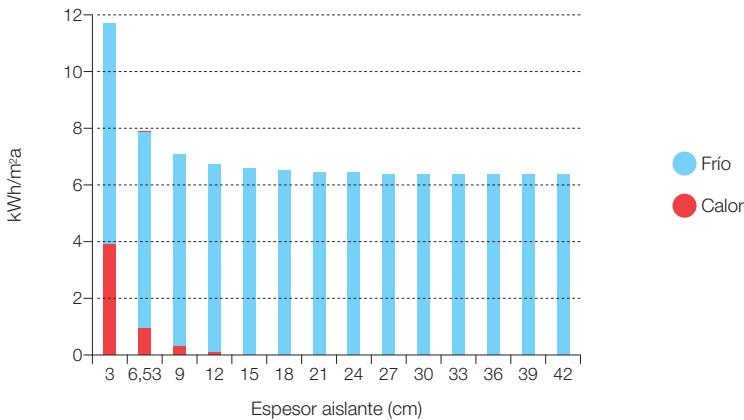
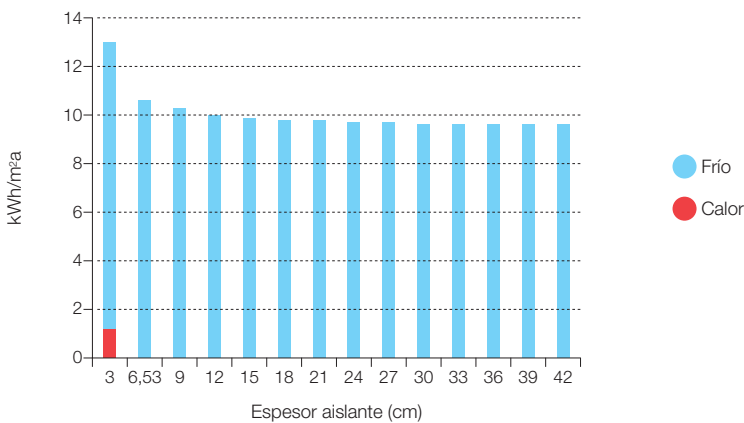


Figura 334. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) de las paredes sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Cubierta BAU. Suelo BAU para zona D3. Málaga (A3). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 6,53 cm, mientras que el BAU implementa 6,53 cm y el CTE exige 2,32 cm.



La figura 333 reproduce los resultados para Valencia (zona B3 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 9 cm.

La figura 334 reproduce los resultados para Málaga (zona A3 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 6,53 cm⁷⁵⁰.

⁷⁵⁰ Este valor con decimales corresponde a que el valor óptimo elegido se corresponde con el valor BAU.

Figura 335. Comparativa entre los distintos niveles asintóticos de la demanda de servicios de climatización a la que nos conduce la aplicación de aislamiento ($k = 0,04$ W/mK) en las paredes.

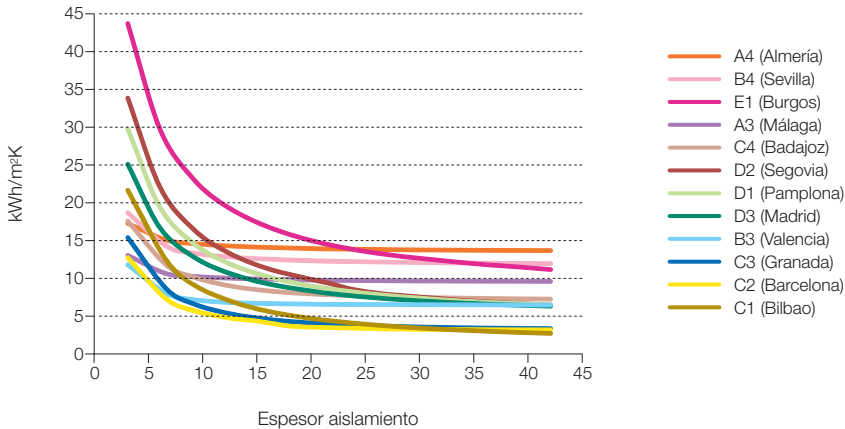
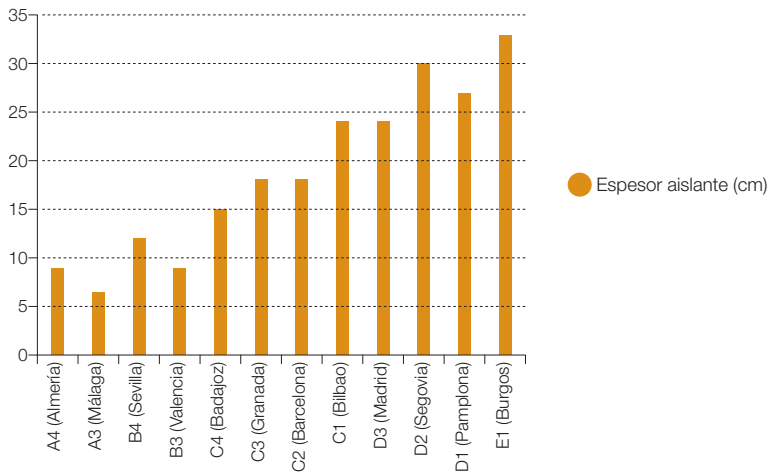


Figura 336. Agrupación de los espesores óptimos de aislante ($k = 0,04$ W/mK) de la pared adoptados para cada emplazamiento climático.



Para apreciar mejor los distintos valores asintóticos, de la demanda de servicios de climatización a los que nos conduce la optimización del aislamiento en los distintos emplazamientos climáticos, la figura 335 nos muestra los resultados agrupados. Como podemos observar, el efecto del aislamiento es mucho

mayor en climas fríos: en climas que quedan dominados por la demanda de refrigeración, el aislamiento no es perjudicial pero no reporta beneficios tan significativos. Excepto los climas muy fríos (como el E1), el añadir aislamiento hasta los niveles del contexto E3.0 hace que los emplazamientos actualmente

con mayor demanda pasen a ser los de menor demanda, y en cualquier caso las demandas finales son parecidas en todos los emplazamientos. Incluso en el emplazamiento de mayor demanda de calefacción (E1), al añadir aislamiento hasta el nivel E3.0 se quedan con una demanda total de servicios de climatización inferior a la del emplazamiento de mayor demanda de refrigeración (A4). Si a esto le añadimos los efectos de modificación del clima, queda claro que la demanda de refrigeración pasará a ser la dominante.

En la figura 336 recogemos los valores óptimos elegidos para el aislamiento de las paredes y que aplicaremos al resto de tipologías de edificios en el contexto E3.0.

3.7.7.1.1.2.1 Sobre la economía del ahorro

Como ya hemos comentado anteriormente, en este estudio no hemos abordado de forma general el análisis de las condiciones óptimas desde el punto de vista económico para el despliegue de las medidas de eficiencia. Sin embargo, en este punto, y aprovechando los resultados del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante en las paredes del modelo de edificio unifamiliar, hemos querido detenernos a bucear un poco en las cuestiones relacionadas con la economía del ahorro, para ubicar y justificar la aproximación que hemos empleado para aproximarnos a estas condiciones óptimas en la definición del contexto E3.0.

El despliegue de medidas de eficiencia para generar ahorro, o lo que se ha dado en denominar negavativos⁷⁵¹, tiene un coste asociado, al igual que la generación de energía para cubrir el consumo que hubiera existido en ausencia de la aplicación de medidas de eficiencia. Es bastante común encontrar la

percepción de que el negavatio siempre va a resultar más económico que generar la forma de energía final para dar cobertura a la ausencia de esa aplicación de eficiencia, lo cual se materializa con la afirmación común de que *la energía más barata es la que no se consume*. Y esto, en principio cabe esperar que sea cierto en un amplio intervalo del potencial de ahorro que pueden proporcionar las medidas de eficiencia, pues los desarrollos asociados a la infraestructura de generación, transporte y distribución de esa energía requiere de la movilización de una cantidad de recursos superior en términos relativos a los necesarios para producir el ahorro en el punto final de consumo. Pero hay dos aspectos que pueden invalidar esta conclusión:

- La aplicación de medidas de eficiencia está sujeta a un proceso de saturación, de tal forma que para una cierta medida de eficiencia a medida que se va incrementando el ahorro producido, crece de forma significativa el coste marginal de los negavativos adicionales.
- En el caso de un sistema de generación integrado, inteligente y basado en renovables, algunos de los vativos generables resultan siempre más económicos que los negavativos correspondientes a intentar evitarlos. Pongamos por ejemplo la electricidad “residual” procedente de requerimientos de regulación del sistema basado en renovables. Su generación no tiene asociado ningún coste adicional ni en infraestructuras ni en operación, y cualquier medida de eficiencia, destinada a evitar este consumo tendrá un coste que por pequeño que sea no será nulo. Esto no quiere decir, ni mucho menos, que la generación del sistema renovable pueda resultar más económica que la aplicación de las medidas de eficiencia, sino más bien, que la gestión y respuesta de la

⁷⁵¹ Se denomina *negavatio* al consumo que no se produjo como consecuencia de la aplicación de medidas de eficiencia. En rigor, tendríamos que hablar de negavativos-hora por tratarse de una medida de la energía (y no la potencia) que no se consumió, en contraste a los vatios-hora que se hubieran consumido en ausencia de la aplicación de las medidas de eficiencia. Sin embargo, por brevedad y para ajustarnos a la nomenclatura coloquial más habitualmente empleada, mantendremos el término *negavatio* para referirnos a la unidad de energía del ahorro. Y por contraposición, a veces hablaremos del vatio asociado al negavatio, abusando del lenguaje para referirnos a una unidad de energía en términos de potencia.

demanda integrada en el sistema energético puede resultar más económica que la aplicación de ciertas medidas de eficiencia.

De forma general, tal y como hemos expuesto detalladamente en puntos anteriores de este informe, el planteamiento que hemos seguido en el despliegue de medidas de eficiencia es el de implementarlas hasta el punto en el que empieza a saturarse su beneficio en términos energéticos, con la idea de fondo de que deberíamos intentar acotar el sistema energético del año 2050 dentro de las capacidades del gran despliegue de infraestructuras que ya tenemos implementadas, con el fin de producir una gran multiplicación de los impactos asociados al despliegue de estas infraestructuras. Esto es especialmente cierto en un contexto de electrificación del conjunto de los sectores energéticos, y en particular del sector edificación: en ausencia de un importante despliegue de medidas de eficiencia esta situación nos conduciría al requerimiento de implementar infraestructuras de transporte y generación a una escala muy superior a la actual, incurriendo en impactos ambientales y económicos que consideramos se deben evitar.

Bajo estos planteamientos generales, en este punto hemos querido profundizar en la cuantificación de estos aspectos para el caso particular de la medida de eficiencia asociada a incrementar el espesor del aislamiento de las paredes del modelo de edificio unifamiliar en la zona climática D3, aprovechando también para ilustrar algunos aspectos asociados a la falta de idoneidad de la estructura tarifaria actual para incentivar el despliegue de medidas de eficiencia.

Por tanto, el caso de partida es el del modelo de edificio unifamiliar con el despliegue del contexto E3.0 que considerábamos para el análisis paramétrico del espesor de aislante

de las paredes en el punto anterior. Es decir, se trata de un edificio ubicado en Madrid, con niveles de aislamiento en cubierta y suelo correspondientes a la situación BAU, al igual de los marcos de las ventanas, pero que incorpora ya toda una serie de elementos del contexto E3.0: iluminación y equipamientos interiores eficientes e inteligentes, iluminación natural, ventilación natural inteligente, ventanas eficientes e inteligentes con controles solares y térmicos dinámicos y bajas infiltraciones. Se trata, por tanto, de un edificio en el cual el consumo eléctrico se ha reducido ya mucho por aplicación de medidas de eficiencia en iluminación y equipamientos, aspecto que junto a la estructura tarifaria y el clima considerado (Madrid) influirán en el reconocimiento del ahorro económico por reducción de la demanda de refrigeración.

Por lo que respecta a la estructura tarifaria considerada para este análisis, hemos optado por emplear la estructura tarifaria actual para ilustrar algunos aspectos relacionados con su falta de sensibilidad para incentivar medidas de eficiencia.

Para la electricidad hemos empleado una tarifa actual para una potencia contratada⁷⁵² por encima de 10 kW y para la cual ya no existe por tanto tarifa de último recurso y debe buscarse directamente en el mercado. El término de potencia de la tarifa considerada⁷⁵³ es de 30,39 €/kW-a y el de energía de 14,3143 c€/kWh, con una potencia contratada⁷⁵⁴ de 14 kW. A estos valores hay que añadirles de forma secuencial el impuesto sobre electricidad (4,86%) y el IVA (18%) para recoger el coste total para el usuario.

Un elemento importante a resaltar sobre esta estructura tarifaria es lo alejada que se encuentra de la incentivación de medidas de eficiencia. En efecto, tal y como nos muestra la

⁷⁵² El modelo de edificio considerado, recordemos que representa a tres viviendas adosadas. Para simplificar, y por el interés de reflejar las tarifas que se encuentran en el mercado, hemos considerado un único contrato de suministro para todo el edificio.

⁷⁵³ Se trata de una tarifa real existente en el mercado en el momento de redactar este informe (10/2010).

⁷⁵⁴ Para el conjunto de las tres viviendas.

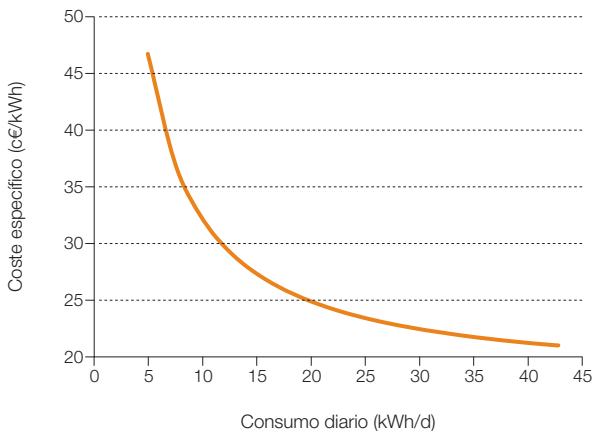
figura 337, el coste específico de la electricidad para el usuario final experimenta un gran incremento exponencial a medida que se reduce el nivel de consumo (es decir: a medida que se aplican medidas de eficiencia), de tal forma que lejos de valorarse positivamente la aplicación de medidas de eficiencia, éstas se penalizan económicamente al diluir el potencial de ahorro con el incremento del coste específico. Para el caso del edificio considerado, que en el contexto BAU tenía una demanda de electricidad de unos 42 kWh/d y que con las medidas del contexto E3.0 implementadas hasta este punto tiene una demanda de unos 13 kWh/d, el coste específico pasa de los 21 c€/kWh para el BAU a unos 29 c€/kWh en la condición actual, y con una tasa muy creciente del coste específico al aplicar medidas de eficiencia adicionales como es el caso de la reducción de la demanda de refrigeración a la que afecta la aplicación de mayores niveles de aislamiento. En estas condiciones, claramente quedan desincentivadas, desde un punto de vista económico por la estructura tarifaria actual, las

medidas dirigidas al ahorro adicional en el consumo de energía eléctrica.

Por otro lado también conviene apuntar los elevados valores que ya alcanza el coste específico de la electricidad para el usuario, de tal forma que en el caso de aplicar medidas de eficiencia significativas, fácilmente sube por encima incluso de la tarifa regulada para la solar fotovoltaica en la edificación⁷⁵⁵.

Uno de los elementos principales que conduce a esta estructura tarifaria tan desincentivadora de las medidas de eficiencia es el elevado coste del término de potencia fijo. En efecto, este término va en función de la potencia contratada, y no de la potencia máxima demandada, de tal forma que penaliza fuertemente el coste específico sin que las condiciones de consumo representen ninguna solicitud real adicional sobre el sistema eléctrico. Es más, una potencia contratada elevada resulta ventajosa para el sistema eléctrico cuando se permite⁷⁵⁶ la articulación de medidas de gestión y respuesta de la demanda, pues permite ofrecer

Figura 337. Coste específico de la electricidad con la estructura tarifaria considerada (representativa de un contrato de más de 10 kW que en 2010 ya tenía que estar en mercado libre) en función del consumo diario del conjunto de las tres viviendas adosadas.



755 Esta tarifa se estableció, a partir de septiembre de 2008, en 34 c€/kWh para instalaciones de menos de 20 kW situadas en edificios. Dicha tarifa, al quitarle el 1 c€/kWh que hay que pagar por concepto de representación en mercado (a una energía con tarifa regulada), se queda en 33 c€/kWh. A su vez, la tarifa inicial se ha ido reduciendo progresivamente a lo largo de 2010 (año al que nos referimos para el ejemplo desarrollado en este capítulo), hasta quedar en 0,305869 c€/kWh.

756 Se permite tanto desde el punto de vista legal, como desde el punto de vista económico al articular una retribución a la prestación de este servicio complementario.

una mayor cantidad de servicios complementarios al sistema eléctrico.

Por tanto, para que la estructura tarifaria actual evolucionara hacia un contexto E3.0 inteligente, algunos de los elementos que podría incorporar serían los siguientes elementos:

- Eliminar la penalización a las medidas de eficiencia por el término de potencia fijo relacionado con la potencia contratada que conduce a un incremento exponencial del coste específico al reducir el consumo. En su lugar establecer una tarificación del término de potencia en función de la potencia realmente demandada y de su relación horaria con los requerimientos del sistema eléctrico, y muy especialmente con la capacidad de generación de la potencia renovable instalada en el sistema eléctrico.
- Añadir una retribución a la generación de negativos.
- Introducir un mecanismo de retribución por servicios complementarios (regulación, potencia rodante, e integración de renovables) asociado a las necesidades reales del sistema eléctrico en cada instante de tiempo.

Por lo que respecta a la tarifa de gas natural considerada, corresponde también a una tarifa disponible en el mercado al escribir este informe⁷⁵⁷ para un consumidor doméstico, con un término fijo de 94,08 €/a y un término variable de 4.63 c€/kWh, a los que hay que añadir el IVA del 18%. En estas condiciones, el coste específico para el edificio considerado en las condiciones de aislamiento BAU sería del orden de 7,0 c€/kWh, es decir, unas tres veces más bajo que el de electricidad.

Debe señalarse que la tendencia inmediata que cabe esperar sobre las tarifas de electricidad y

gas natural es al alza respecto a las tarifas empleadas, con incrementos que pueden resultar muy significativos.

Por lo que respecta a los costes de la medida de eficiencia, esto es, el espesor de aislante colocado en las paredes, hemos elegido un material aislante comercialmente disponible con $k = 0,04 \text{ W/mK}$, constituido basándose en viruta de madera termocompactada, apto para la configuración de muros invertidos, y cumpliendo los requerimientos bioconstructivos que señalábamos anteriormente en este informe. El coste considerado es de 300 €/m³, e incluye tan solo el material aislante adicional, pues el resto de elementos para su puesta en obra constituyen unos costes fijos del edificio que se modifican relativamente poco con el incremento del espesor de aislante.

Para los costes de los sistemas de generación de energía destinados a cubrir las demandas de calefacción, agua caliente sanitaria y frío, hemos considerado unos 150 €/kW para una caldera de baja temperatura o de condensación, y 300 €/kW para el equipo encargado de la generación de frío, con unos costes anuales de 150 €/a para la operación y mantenimiento de las instalaciones. Para la caldera se ha considerado una potencia de 35 kW y para el equipo de generación de frío de 8 kW. Es de resaltar que estas potencias se han mantenido fijas, si bien el despliegue de medidas de eficiencia reduce los picos de potencia, por lo que podría sacar un cierto beneficio por reducción de la capacidad. Pero la reducción de los picos de potencia es en este caso limitada, y los factores que determinan la potencia pico están poco relacionados con la incorporación de aislamiento adicional (por ejemplo la demanda de ACS para la caldera), y además, en estos rangos de potencias bajas el coste de inversión específico (€/kW) crece rápidamente al reducir las potencias,

por lo que prácticamente anula el beneficio de reducción de la capacidad.

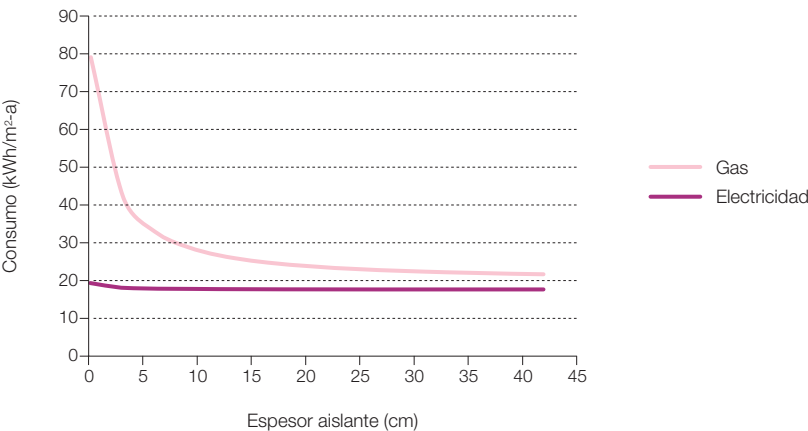
Otros parámetros económicos considerados han sido los siguientes: Vida útil del edificio y periodo de análisis económico = 100 años; vida útil de los equipos de generación = 20 años (por tanto se consideran 4 reposiciones en el periodo de análisis económico); interés del dinero = 1%/a (reflejando los menores tipos disponibles para el usuario de una vivienda); inflación general = 1%/a.

Respecto a las tasas de inflación del gas natural y de la electricidad se han considerado distintas a la tasa de inflación general, al explorarse distintos casos en el estudio realizado. Por lo que respecta a la tasa de inflación del gas natural cabe esperar que resulte elevada y creciente a lo largo del tiempo a medida que vaya aumentando la demanda mundial sobre este escaso recurso. Por lo que respecta a la tasa de inflación de la electricidad, en la media de que dependa de combustibles fósiles con tasas de inflación

crecientes también aumentaría, pero incluso en el contexto BAU su inflación se va a ver amortiguada por la participación de energías renovables en el sistema de generación, por lo que cabe esperar que sus valores de inflación sean inferiores a los del gas. Además, tal y como veíamos anteriormente, el valor de partida del coste específico de la electricidad ya es mucho más elevado que el del gas (del orden del triple), motivo por el que también cabría esperar que su inflación fuera inferior.

En estas condiciones, la figura 338 nos reproduce la evolución del consumo total de gas natural y electricidad del edificio a medida que se incrementa el espesor de aislante en las paredes. Como podemos observar en la figura, el efecto de la incorporación de aislante es mucho más elevado sobre el consumo de gas (afectando a la demanda de calefacción) que sobre el consumo de electricidad (que solo se ve afectado por la reducción de la demanda de refrigeración). También se aprecian los rendimientos decrecientes de la aplicación de

Figura 338. Consumo total de electricidad y gas al ir incrementando el espesor de aislante. Vivienda unifamiliar en Madrid.



medidas de eficiencia por lo que respecta a la reducción incremental del consumo total.

Si relacionamos los ahorros económicos conseguidos por la aplicación de la medida de eficiencia (reducción consumo gas y electricidad) con los costes asociados al despliegue de esta medida de eficiencia, en términos normalizados a lo largo de la vida del edificio, obtenemos la cuantificación del coste del ahorro (coste de los negavativos) recogida en la figura 339. Como podemos observar, para este caso, el coste del negavatio se incrementa de forma aproximadamente lineal con el espesor de aislante incorporado. Es preciso recalcar que en esta figura se presenta el coste acumulado, y no el marginal, por lo que los negavativos considerados para cada valor del aislante son el total obtenido respecto al caso sin aislamiento en las paredes. Los valores del coste normalizado del negavatio son como podemos ver bajos respecto a las estructuras tarifarias de la energía que empleamos para cubrir estas demandas, por lo que fácilmente queda justificado un despliegue de

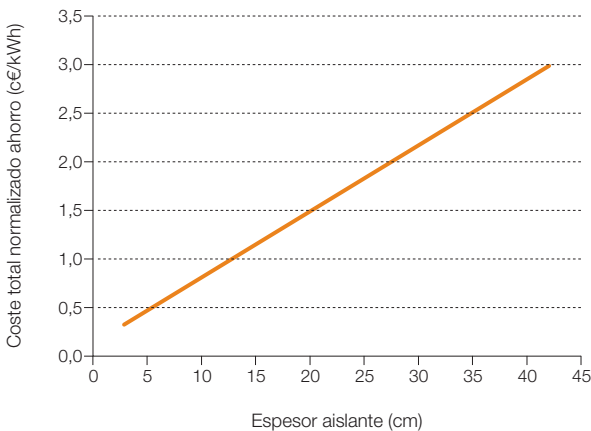
estas medidas de eficiencia hasta alcanzar su condición de saturación.

Otro punto que es importante recalcar es que el coste del negavatio normalizado no se ve afectado por la inflación en general, y mucho menos por la inflación del gas natural o de la electricidad. En un contexto de inestabilidad y tendencia inflacionista de los costes de los combustibles fósiles, esta independencia que proporciona el ahorro de las tendencias inflacionistas constituye un importante valor añadido del despliegue de medidas de eficiencia.

Si comparamos el coste normalizado a lo largo de la vida útil del edificio del suministro de energía (electricidad y gas natural) junto al coste marginal del ahorro, obtenemos el resultado que nos muestra la figura 340, que nos permite extraer varias conclusiones interesantes:

- A medida que aumenta el espesor de aislante se incrementan tanto el coste del suministro de energía como el coste marginal del ahorro. Por lo que respecta al coste marginal del

Figura 339. Coste total normalizado del ahorro. Vivienda unifamiliar en Madrid (Vida útil vivienda = 100 años; interés del dinero = 1%/a).



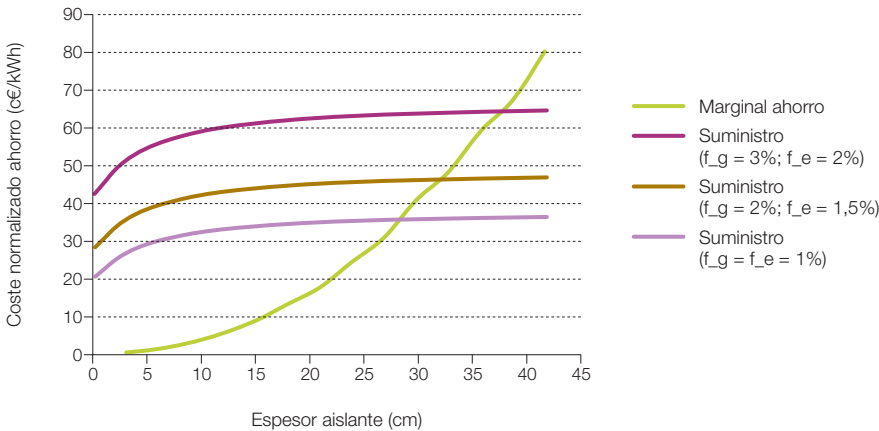
ahorro, este incremento es una consecuencia de la saturación y rendimientos decrecientes en la aplicación de esta medida de eficiencia. Por lo que respecta al coste del suministro el incremento es debido por un lado a la desfavorable estructura de la tarificación energética por lo que respecta a la incentivación del ahorro, y por otro lado a los menores factores de capacidad con los que se usa la inversión en equipos de generación a medida que se incrementa el ahorro.

- El efecto de la inflación sobre el coste normalizado del suministro es muy importante, de tal forma que incluso considerando bajas tasas de inflación como es el caso de la situación reflejada por la figura, llegamos a ver cómo prácticamente se llega a doblar el coste normalizado. Por el contrario, el coste marginal de la aplicación de medidas de eficiencia es independiente de estos procesos inflacionistas.

- Desde el punto de vista de la justificación económica del despliegue de medidas de eficiencia, cualquier situación en que el coste marginal del ahorro quedara por debajo del coste del suministro podría considerarse adecuada. En este sentido, podemos observar por un lado cómo el incremento de la inflación sobre el suministro conduce a la justificación de un mayor despliegue de medidas de eficiencia, y por otro lado podemos ver cómo en todos los casos queda justificado el espesor de aislante que elegimos en el punto anterior⁷⁵⁸ basándose en el criterio de saturación de la capacidad de ahorro de energía.

Pero yendo un paso más allá, tiene interés analizar la evolución del coste total del suministro de energía y la eficiencia (figura 341). Para ello, vamos a considerar que el total de demanda a cubrir es la del edificio con espesor nulo de aislante en las paredes, y parte de

Figura 340. Costes normalizados del total del suministro energético (electricidad y gas) y marginal del ahorro, en función del espesor de aislante, y para distintos valores de la inflación del gas natural y de la electricidad. Vivienda unifamiliar en Madrid. (vida útil vivienda = 100 años; interés del dinero = 1%/a; inflación general = 1%/a; vida útil equipos generación = 20 años).



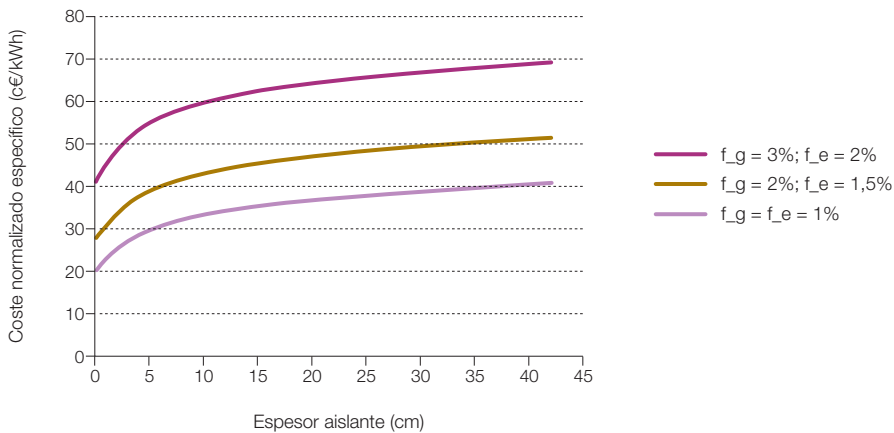
⁷⁵⁸ Para este caso, con el edificio emplazado en Madrid, el espesor elegido fue de 24 cm.

esta demanda se cubre mediante medidas de eficiencia (negavattios) mientras que otra parte se cubre con el suministro de energía. En estas condiciones, el denominador del coste específico (energía total demandada) es constante para todos los valores del espesor de aislante. Tal y como muestra la figura, el coste específico se incrementa con el despliegue de medidas de eficiencia, pero con tasas decrecientes. Esta conclusión tiene carácter general: Al incrementar las medidas de eficiencia crece el coste específico total. Pero en el caso actual este efecto se potencia mediante la existencia de unas estructuras tarifarias que penalizan el ahorro. En el contexto E3.0, la incorporación de medidas de inteligencia en el sistema energético pueden atenuar de forma importante esta tendencia creciente, conduciendo a la estabilización del coste normalizado específico.

Pero realmente no es en términos del coste específico, sino del coste absoluto, que hay

que juzgar la bondad de las medidas de eficiencia sobre el conjunto del sistema, pues a la tendencia de un coste específico creciente con el despliegue de medidas de ahorro hay que superponerle la reducción en el consumo absoluto asociada a este despliegue. La figura 342 nos presenta el resultado para este caso de estudio. Como podemos observar en la figura, la dependencia del coste normalizado total para la cobertura de la demanda de energía del caso original (parte con negavattios y parte con vatios) es tal que presenta un valor mínimo que va creciendo con la inflación a la que estén sometidos los combustibles fósiles. Este mínimo sería el óptimo desde un punto de vista técnico-económico para el despliegue de esta media de eficiencia, y como podemos ver, para el caso de inflaciones del gas natural igual o superior a 3%/a este óptimo es del orden o superior al espesor elegido en el estudio paramétrico desarrollado en el apartado anterior, basándose en la saturación del beneficio energético de

Figura 341. Coste normalizado relativo del total de eficiencia + suministro, en relación a la demanda total (negavattios + vatios), y para distintos valores de la inflación del gas natural y de la electricidad. Vivienda unifamiliar en Madrid. (vida útil vivienda = 100 años; interés del dinero = 1%/a; inflación general = 1%/a; vida útil equipos generación = 20 años).



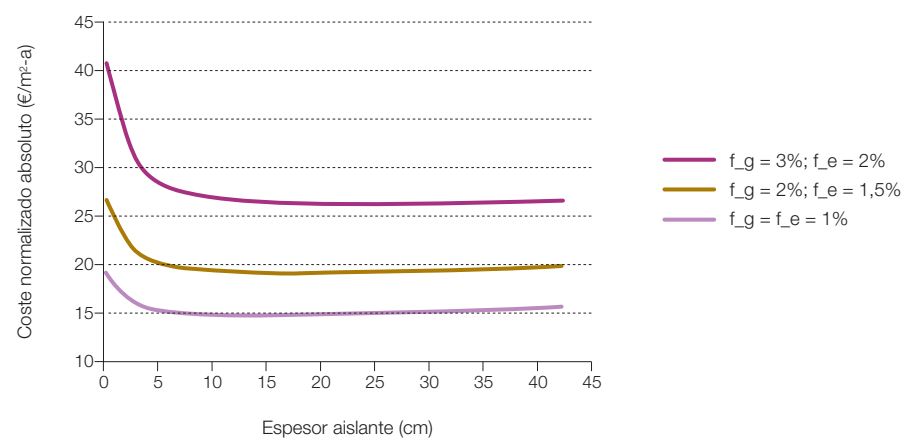
esta medida de eficiencia. Pero es más, a la derecha del mínimo la curva es muy plana, por lo que excederse en la aplicación de la medida de eficiencia no presenta una penalización económica importante, mientras que quedarse corto sí que conduce a una importante penalización económica. Si a esto le añadimos el hecho de que el despliegue de las medidas de eficiencia evita el tener que desarrollar infraestructuras adicionales de transporte y generación de energía, consideramos que la implementación de las medidas de eficiencia hasta el punto de saturación de su capacidad de ahorro queda completamente justificada. Es más, tal y como comentábamos anteriormente, la introducción de inteligencia en el sistema energético conduce a atenuar el crecimiento del consumo específico⁷⁵⁹, lo cual a su vez conduce a allanar más la curva del coste normalizado absoluto a la derecha de su óptimo, desplazando el óptimo hacia mayores valores de ahorro, lo cual refuerza la conclusión anterior

de que más vale pasarse por exceso que quedarse corto por lo que concierne al despliegue de medidas de eficiencia.

Los resultados hasta aquí presentados reproducen el análisis en el ciclo de vida de la medida de ahorro implementada que, a nuestro entender, debe ser el parámetro empleado desde el punto de vista de tomar decisiones sobre el nivel de eficiencia que resulta conveniente desplegar por reflejar el impacto total de dicha actuación⁷⁶⁰.

Sin embargo, debido a la ausencia de inteligencia en el sistema económico actual, las decisiones relativas a la viabilidad de desplegar una medida de eficiencia a menudo se toman en vistas a su rentabilidad en periodos de tiempos menores a los de su vida útil. En el caso de las medidas de ahorro, la limitación de este enfoque, por lo general, conduce a despliegues inferiores del alcance de la eficiencia como consecuencia de dos defectos

Figura 342. Coste normalizado absoluto del total de eficiencia más suministro, en relación a la demanda total (megavatios + vatios), y para distintos valores de la inflación del gas natural y de la electricidad. Vivienda unifamiliar en Madrid (vida útil vivienda = 100 años; interés del dinero = 1%/a; inflación general = 1%/a; vida útil equipos generación = 20 años).



759 Ver discusión asociada a la figura anterior.

760 De hecho, la Directiva 2010/31/UE sobre el desempeño energético de los edificios, impone el requerimiento de que los niveles óptimos de despliegue de medidas de eficiencia correspondan a los óptimos económicos considerando los costes en todo el ciclo de vida.

del método de análisis empleado en el marco del sistema económico actual:

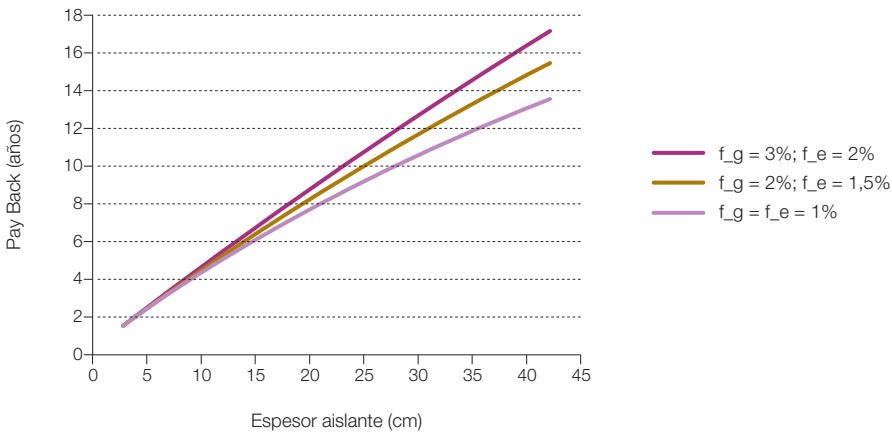
- Los costes actuales⁷⁶¹ de los combustibles a los que sustituye la medida de eficiencia no internalizan ni el conjunto de sus impactos actuales, ni su futura inflación como consecuencia de usar un recurso limitado sobre el que la demanda va a crecer de forma muy importante.
- Se deja fuera del periodo de análisis los ahorros que va a producir la medida de eficiencia en el largo plazo.

Un ejemplo de los indicadores habitualmente empleados para evaluar la viabilidad económica de una inversión es su periodo de retorno o *payback*. En la figura 343 recogemos la evolución del *payback* asociado a la medida de eficiencia considerada (espesor aislamiento pared) en función del espesor de pared implementado para distintos escenarios de inflación de los combustibles. Como podemos observar, en el caso del *payback* no se presenta el efecto de saturación que obteníamos con el

análisis de ciclo de vida, de tal forma que el *payback* se incrementa de forma monótona aunque con tasas decrecientes. La inflación de la energía final, incluso en estos primeros años de análisis, ya se deja sentir de forma significativa, pero la mayoría de su efecto se encuentra en los años posteriores al *payback*, por lo que ese efecto beneficioso de la medida de eficiencia no aparece recogido en este indicador económico de corto plazo. A pesar de todo, los valores obtenidos para el *payback* en los valores óptimos que hemos seleccionado para el espesor de aislante caen dentro de un margen razonable, especialmente en entornos de elevada tendencia inflacionista de la energía.

En este punto hemos analizado los costes del ahorro asociados a una medida de eficiencia muy concreta: la aplicación de aislamiento a las paredes del edificio. Esta es una medida de eficiencia que siempre representa un coste incremental al emplear un material aislante determinado, pues implica emplear una mayor cantidad de este material. Sin embargo, el contexto E3.0 está compuesto por un conjunto de muchas medidas de eficiencia, cada

Figura 343. *Payback* asociado a la incorporación de aislante en las paredes del edificio. Vivienda unifamiliar en Madrid.



⁷⁶¹ Es decir, los que se van a considerar en los primeros años que conforman el periodo de análisis a corto plazo.

una de ellas con costes del negavatio distintos, y algunas incluso con costes negativos del negavatio.

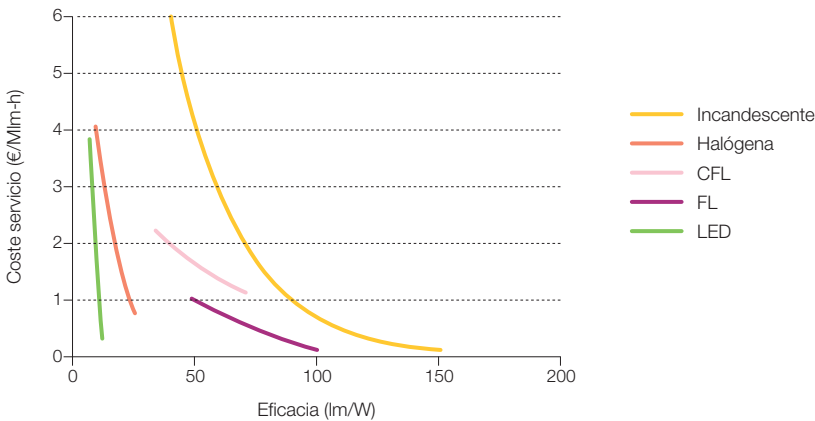
En efecto, consideremos el efecto de las regulaciones sobre el nivel de eficiencia de los equipos. A medida que se va incrementando el requerimiento regulatorio e introduciendo límites para la entrada en el mercado de los equipos menos eficientes, debido al mayor mercado y perspectiva de futuro de los equipos eficientes, su coste puede resultar incluso inferior del de equipos de menor eficiencia⁷⁶², de tal forma que el coste del negavatio sería en este caso negativo.

Esta situación resulta en el sector edificación más común de lo que se pueda pensar en primera instancia. A modo de ejemplo, en la figura 344 reproducimos los resultados de un muestreo de mercado realizado el 1/2010 sobre las lámparas disponibles en grandes superficies comerciales. Los resultados muestran⁷⁶³ el

coste del servicio proporcionado por la lámpara (en términos de euros por cada megalumen-hora proporcionado) en función de su eficacia, para distintos tipos de lámpara. Lo primero que podemos observar en esta figura es el hecho de que para una tecnología de lámpara dada, el coste del servicio se reduce con su eficacia, por lo que el coste del negavatio resulta negativo. Por otro lado, al evolucionar hacia tecnologías más eficientes⁷⁶⁴, también se reduce el coste del servicio, conduciendo a valores negativos del coste del negavatio.

En (Mckinsey & Company, 2009) se presentan resultados de los costes de eliminación de CO₂ de distintas estrategias. Para el sector edificación, más del 70% del potencial de reducción de emisiones de CO₂ para el año 2030 está formado por medidas de coste negativo, que van desde el cambio de lámparas a la rehabilitación energética, pasando por la introducción de equipamiento eficiente y la mejora de los sistemas de climatización y de producción de ACS.

Figura 344. Coste del servicio proporcionado en función de la eficacia para distintos tipos de lámpara. Muestreo de mercado realizado el 1/2010 en grandes superficies comerciales (CFL = lámpara fluorescente compacta; FL = lámpara fluorescente lineal). Para el caso de las lámparas LED el ajuste de los puntos de muestreo se halla extrapolado por encima de 50 lm/W.



762 De hecho, los equipos de menor eficiencia pueden eventualmente desaparecer del mercado, por lo que ya no constituyen una alternativa.

763 Los resultados mostrados corresponden al mejor ajuste de los puntos de muestreo, pero debe indicarse que existe una gran dispersión entre los distintos productos.

764 Por lo que respecta a la tecnología de lámparas LED, debe tenerse presente que en el periodo del muestreo realizado (1/2010) fue cuando estas lámparas empezaron a aparecer en las grandes superficies, con costes muy elevados consecuencia de su bajo mercado, y eficacias muy por debajo de su potencial. De hecho, los productos LED que encontramos en las grandes superficies al realizar el muestreo, frecuentemente no disponían de una caracterización técnica completa, y en cualquier caso su eficacia máxima era del orden de 50 lm/W. En la figura se ha extrapolado el ajuste de los puntos de muestreo para mostrar una posible evolución de esta tecnología al avanzar por su curva de aprendizaje.

En (AIE, 2010) también se incluye alguna información relativa a los costes de ahorro. Para el sector edificación indica que hay un gran potencial de eficiencia a coste bajo. De hecho, los costes totales en ciclo de vida del conjunto de las medidas de eficiencia implementadas en su escenario a 2050 para este sector son negativos a nivel mundial, con unos costes del negavatio que por unidad de energía no llegan al 9% del ahorro económico asociado a la reducción del consumo de combustibles y electricidad. Una de las componentes de eficiencia con mayor coste de las que apunta es precisamente el incremento en nivel de aislamiento de la envolvente, a pesar de lo cual, en la OCDE la rehabilitación energética del parque existente domina el potencial de ahorro energético. La evolución de los estándares sobre los equipamientos hacia valores óptimos de coste mínimo en el ciclo de vida proporciona distintas componentes de eficiencia con costes negativos. De hecho, algunas

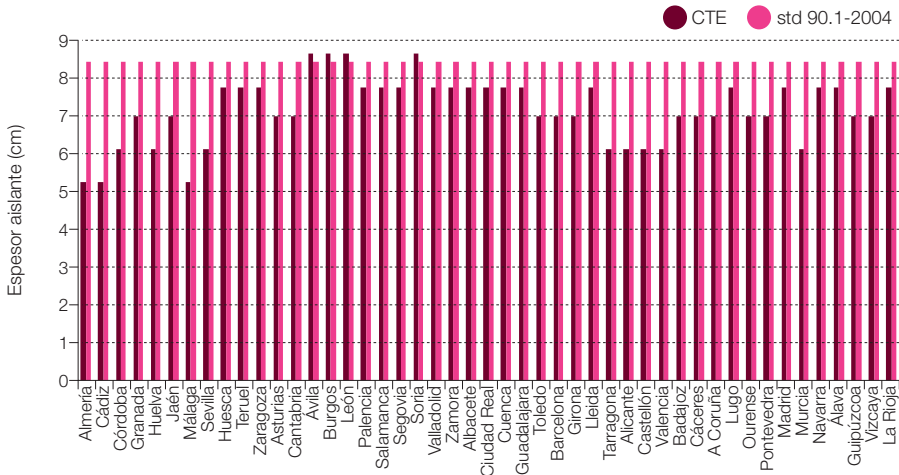
de las tecnologías que dominan el contexto E3.0 como son las bombas de calor, en (AIE, 2010) se muestran proporcionando costes negativos en muchos emplazamientos, entre los que destacan países como Japón que ya han llevado las exigencias regulatorias sobre la eficacia de las bombas de calor a unos niveles de eficiencia muy superiores a los que encontramos en Europa o EE. UU.

Según estos resultados y consideraciones, cabría esperar que el coste medio del negavatio asociado al despliegue de medidas de eficiencia en el sector edificación fuera muy bajo o incluso negativo.

3.7.7.1.3 *Espesor aislamiento cubierta*

En este punto recogemos los resultados del análisis paramétrico de efecto del espesor de aislante en la cubierta del edificio.

Figura 345. Espesores de aislamiento (para aislante de conductividad 0,04 W/mK) requeridos por la regulación actual en España (CTE) y por la regulación que hemos adoptado como referencia para definir el escenario BAU (std 90.1-2004 de ASHRAE).



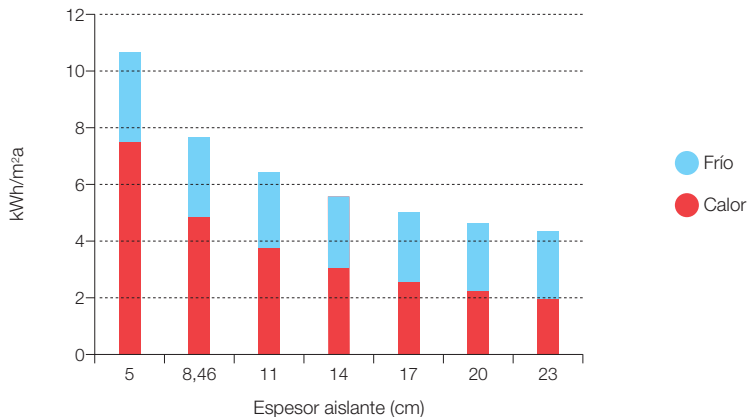
El edificio considerado incorpora las medidas de eficiencia del contexto E3.0 mencionadas en el apartado anterior, así como el espesor óptimo de aislante de pared elegido en el apartado anterior. Además⁷⁶⁵, para este caso se ha incorporado el espesor de aislante BAU para cada emplazamiento climático y se ha analizado la idoneidad de introducir una cubierta fría⁷⁶⁶ en los distintos emplazamientos climáticos⁷⁶⁷.

Como punto de partida, la figura 345 nos recoge los espesores de aislamiento requeridos en las soluciones constructivas implementadas para cumplir con los requerimientos de la regulación actual en España (CTE), y del estándar adoptado como representativo del BAU 2050 (std 90.1-2004). Como podemos observar, para el caso de la cubierta en CTE se encuentra mucho más próximo al std 90.1-2004 que para el caso de las paredes.

La figura 346 reproduce los resultados para Madrid (zona D3 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 17 cm.

La figura 347 reproduce los resultados para Almería (zona A4 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 5 cm. Es de resaltar que en este caso el espesor óptimo es inferior al del caso BAU (std 90.1-2004). La diferencia en prestaciones energéticas entre ambos casos es despreciable, pero precisamente por esto carece de sentido desde un punto de vista económico el aumentar el espesor de aislante.

Figura 346. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) en cubierta sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared óptima, suelo BAU. Madrid (D3). El valor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 17 cm, mientras el contexto BAU implementa 8.46 cm, y el CTE exige 7,80 cm.



765 Como consecuencia de haber introducido elementos adicionales, hay emplazamientos en los que el punto de los gráficos mostrados en este apartado que representan el valor con aislamiento BAU en cubierta no coinciden con los puntos correspondientes de los gráficos del apartado anterior.

766 Se conoce como cubierta fría aquellos acabados de cubierta con unas propiedades termo-ópticas que reducen la temperatura de equilibrio a la que se queda la superficie al estar irradiada por el sol. Por tanto, el techo frío tiene el potencial de reducir la demanda de refrigeración del edificio, aunque por el contrario reduce también las ganancias por transmisión en régimen de calefacción y por tanto puede aumentar la demanda de calefacción. Por este motivo en algunos emplazamientos resulta beneficioso mientras en otros o no aporta nada o incluso resulta nocivo desde el punto de vista de la demanda térmica del edificio. Las propiedades termo-ópticas que intervienen en la temperatura de equilibrio que adquiere una superficie al recibir la radiación solar son su absorción solar (α_s) y su emisividad infrarroja (ϵ). En ocasiones se emplea un índice que agrupa el efecto de ambas variables sobre el incremento de temperatura, es el denominado Solar Reflectance Index (SRI), que expresa en una escala del 0% al 100% la capacidad de repeler el calentamiento solar de una superficie. El valor del 0% corresponde a una superficie negra, y el del 100% al de una superficie blanca. A modo de referencia, el std 90.1 de ASHRAE (la normativa que hemos usado para definir el BAU) permite sacar crédito en una simulación de una cubierta fría si el material empleado tiene $\alpha_s < 0,3$ y $\epsilon > 0,75$, pero para tener en cuenta la degradación en uso de esta superficie solo permite considerar $\alpha_s = 0,55$, lo cual con una $\epsilon = 0,9$ nos proporciona un SRI = 5,33%. Para el resto de superficies de cubierta, el std 90.1 requiere emplear $\alpha_s = 0,7$. Para el desarrollo de este informe, en el contexto BAU y para aquellos casos del contexto E3.0 que no se beneficien de una cubierta fría, hemos considerado una cubierta con $\alpha_s = 0,7$ y $\epsilon = 0,9$, es decir un SRI = 33,3%, mientras que para los casos del contexto E3.0 que se puedan beneficiar de la cubierta fría hemos supuesto $\alpha_s = 0,3$ y $\epsilon = 0,9$, es decir un SRI = 86,6%.

Figura 347. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) en cubierta sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared óptima, suelo BAU. Almería (A4). Cubierta fría. El valor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 5 cm, mientras el contexto BAU implementa 8.46 cm, y el CTE exige 5,27 cm.

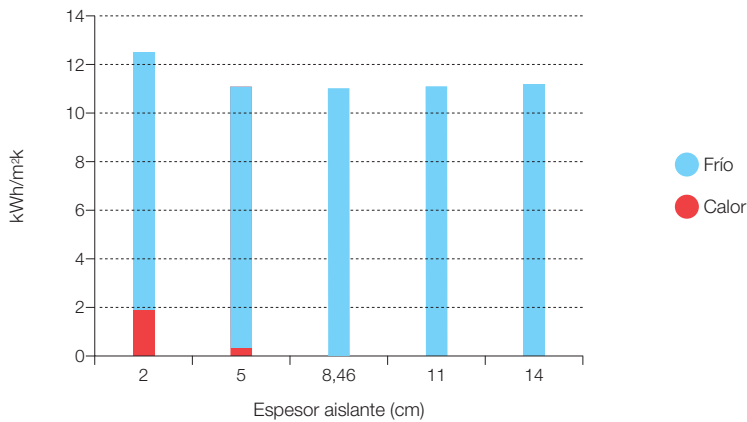
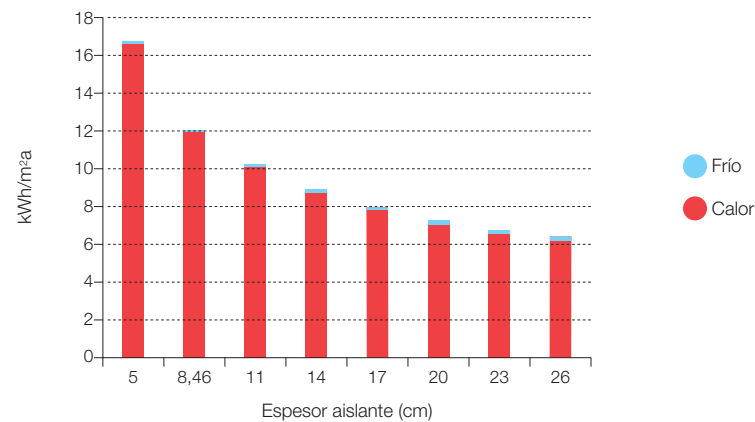


Figura 348. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) en cubierta sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared óptima, suelo BAU. Burgos (E1). El valor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 23 cm, mientras el contexto BAU implementa 8,46 cm, y el CTE exige 8,70 cm.



La figura 348 reproduce los resultados para Burgos (zona E1 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 23 cm.

767 En concreto, para los emplazamientos de las zonas climáticas A4, A3, B4, B3, C4, C3 y C2 se ha incorporado el techo frío para el contexto E3.0.

Figura 349. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) en cubierta sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared óptima, suelo BAU. Segovia (D2). El valor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 20 cm, mientras el contexto BAU implementa 8,46 cm, y el CTE exige 7,80 cm.

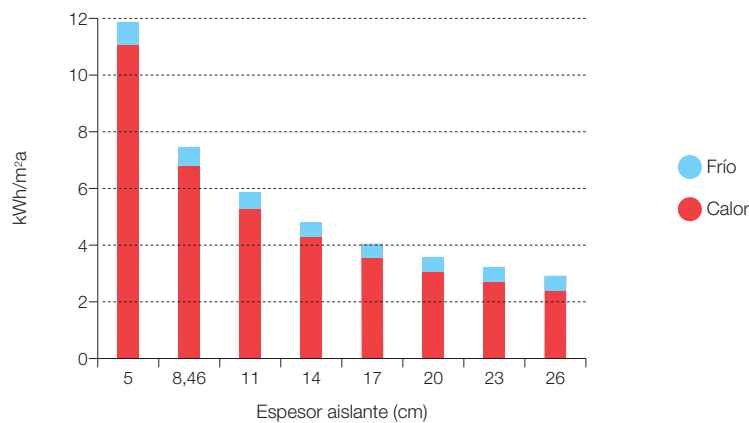
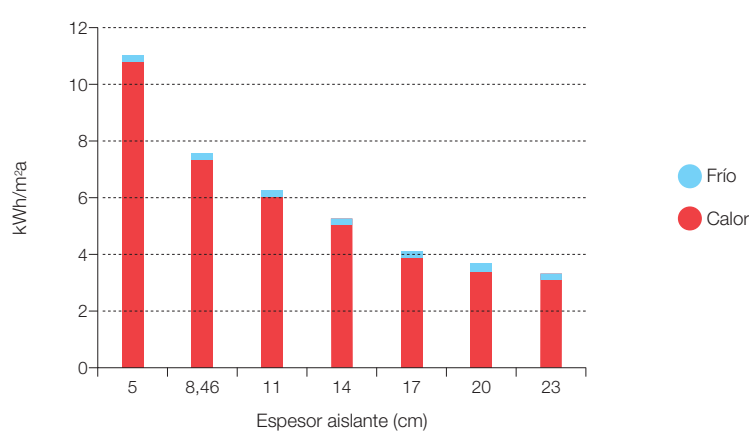


Figura 350. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) en cubierta sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared óptima, suelo BAU. Pamplona (D1). El valor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 20 cm, mientras el contexto BAU implementa 8,46 cm, y el CTE exige 7,80 cm.



La figura 349 reproduce los resultados para Segovia (zona D2 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 20 cm.

La figura 350 reproduce los resultados para Pamplona (zona D1 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 20 cm.

Figura 351. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) en cubierta sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared óptima, suelo BAU. Badajoz (C4). Cubierta fría. El valor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 14 cm, mientras el contexto BAU implementa 8,46 cm, y el CTE exige 7,03 cm.

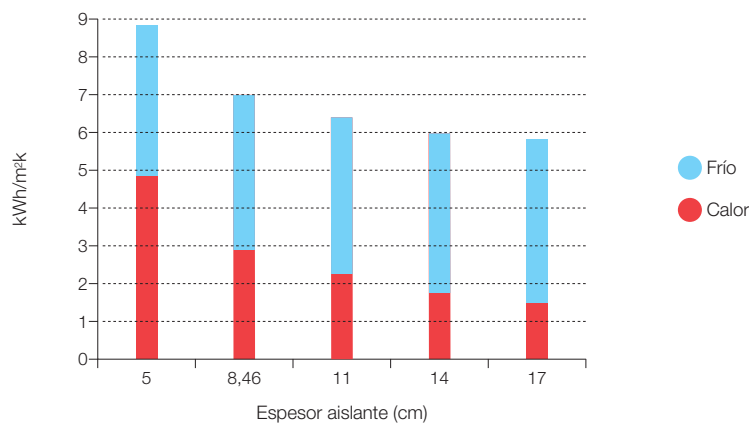
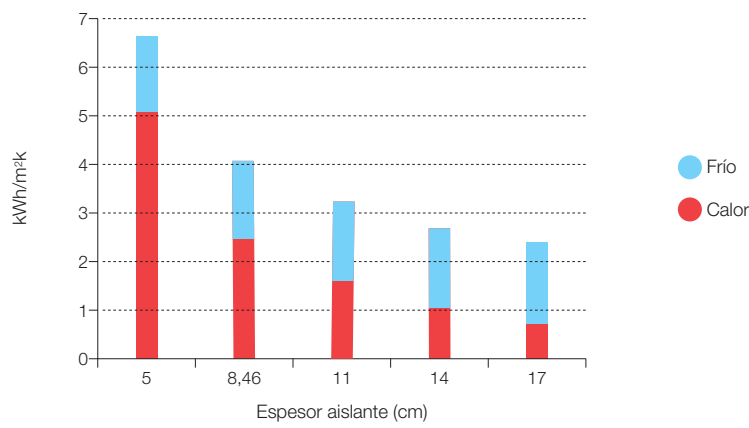


Figura 352. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) en cubierta sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared óptima, suelo BAU. Granada (C3). Cubierta fría. El valor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 14 cm, mientras el contexto BAU implementa 8,46 cm, y el CTE exige 7,03 cm.



La figura 351 reproduce los resultados para Badajoz (zona C4 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 14 cm.

La figura 352 reproduce los resultados para Granada (zona C3 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 14 cm.

Figura 353. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) en cubierta sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared óptima, suelo BAU. Barcelona (C2). Cubierta fría. El valor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 11 cm, mientras el contexto BAU implementa 8,46 cm, y el CTE exige 7,03 cm.

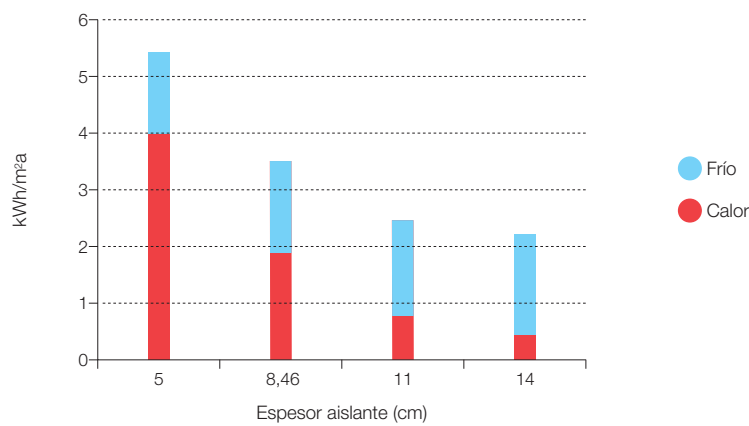
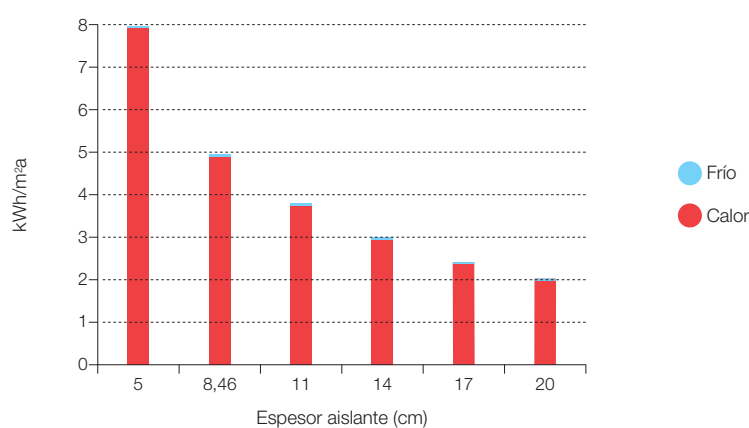


Figura 354. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) en cubierta sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared óptima, suelo BAU. Bilbao (C1). El valor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 17 cm, mientras el contexto BAU implementa 8,46 cm, y el CTE exige 7,03 cm.



La figura 353 reproduce los resultados para Barcelona (zona C2 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 11 cm.

La figura 354 reproduce los resultados para Bilbao (zona C1 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 17 cm.

Figura 355. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) en cubierta sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared óptima, suelo BAU. Sevilla (B4). Cubierta fría. El valor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 8,46 cm, mientras el contexto BAU implementa 8,46 cm, y el CTE exige 6,16 cm.

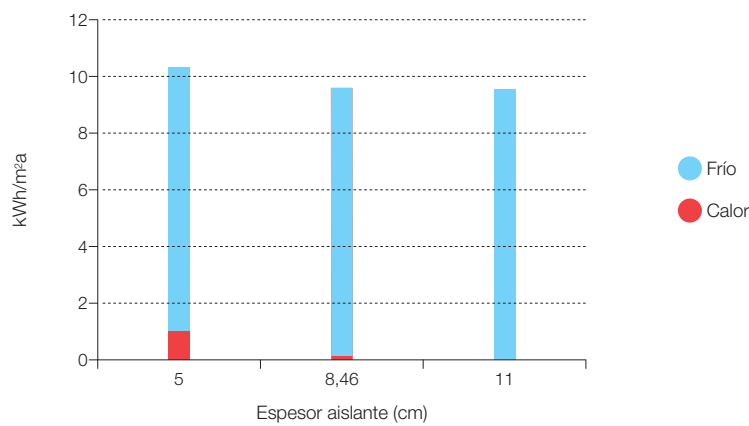
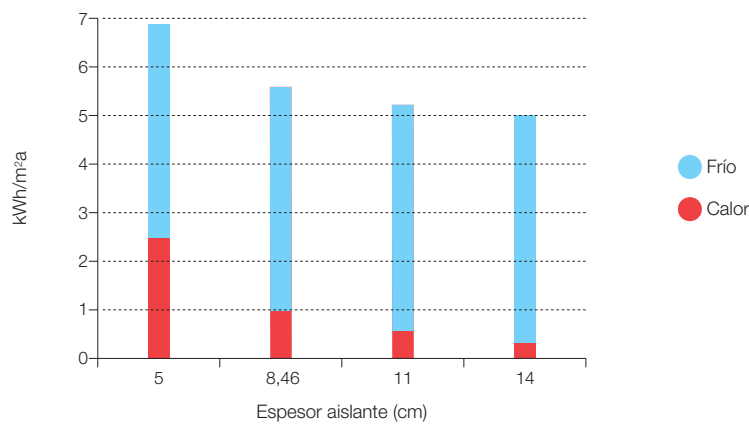


Figura 356. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) en cubierta sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared óptima, suelo BAU. Valencia (B3). Cubierta fría. El valor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 8,46 cm, mientras el contexto BAU implementa 8,46 cm, y el CTE exige 6,16 cm.



La figura 355 reproduce los resultados para Sevilla (zona B4 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 8,46 cm⁷⁶⁸.

La figura 356 reproduce los resultados para Valencia (zona B3 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 8,46 cm⁷⁶⁹.

⁷⁶⁸ Este valor con decimales corresponde al caso BAU, ajustado para cumplir con el requerimiento del std 90.1-2004 con la solución constructiva implementada.

⁷⁶⁹ Este valor con decimales corresponde al caso BAU, ajustado para cumplir con el requerimiento del std 90.1-2004 con la solución constructiva implementada.

Figura 357. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) en cubierta sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared óptima, suelo BAU. Málaga (A3). Cubierta fría. El valor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 8,46 cm, mientras el contexto BAU implementa 8,46 cm, y el CTE exige 5,27 cm.

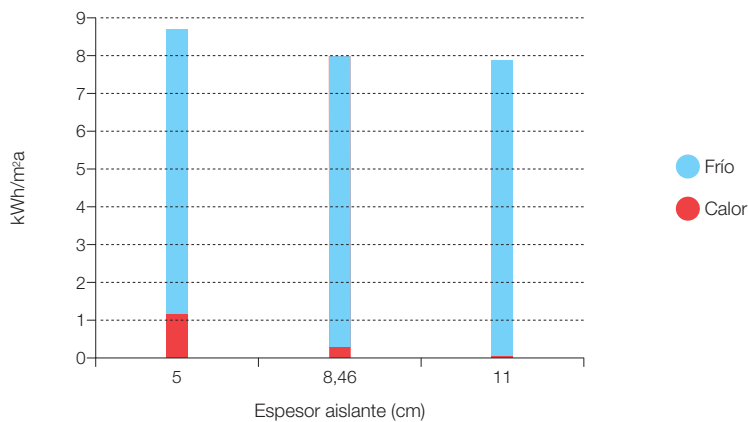
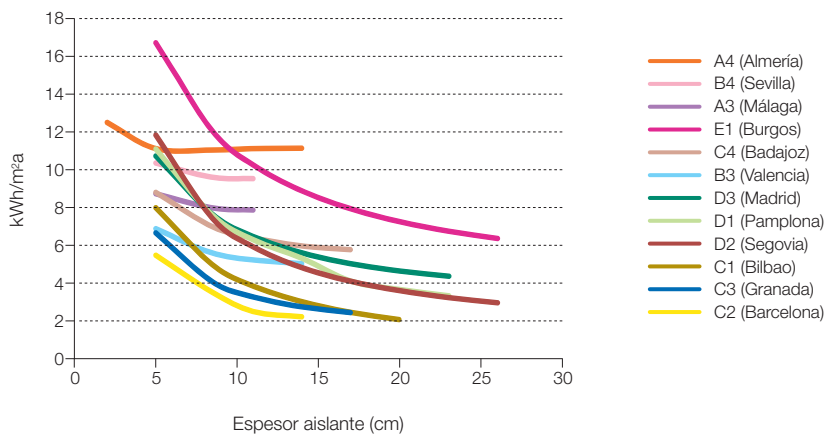


Figura 358. Comparativa entre los distintos niveles asintóticos de la demanda de servicios de climatización a la que nos conduce la aplicación de aislamiento ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) en la cubierta (con valores óptimos de aislamiento en pared).



La figura 357 reproduce los resultados para Málaga (zona A3 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 8,46 cm⁷⁷⁰.

En la figura 358 recogemos los resultados de los distintos estudios paramétricos para poder observar, de forma comparativa, entre

⁷⁷⁰ Este valor con decimales corresponde al caso BAU, ajustado para cumplir con el requerimiento del std 90.1-2004 con la solución constructiva implementada.

distintos emplazamientos climáticos su efecto sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Como podemos observar, los emplazamientos con elevada severidad climática de verano se quedan con una demanda residual superior a los de mayor severidad climática. Los valores finales de la demanda de servicios de climatización resultantes en la mayoría de emplazamientos son muy bajos, de tal forma que al aplicar tecnologías eficientes de generación van a conducir a una componente prácticamente despreciable en la estructura de energía final del contexto E3.0.

La figura 359 recoge los valores del aislamiento óptimo elegido para la cubierta en cada uno de los emplazamientos climáticos.

3.7.7.1.1.4 *Espesor aislamiento suelo*

En este punto recogemos los resultados del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante en el suelo.

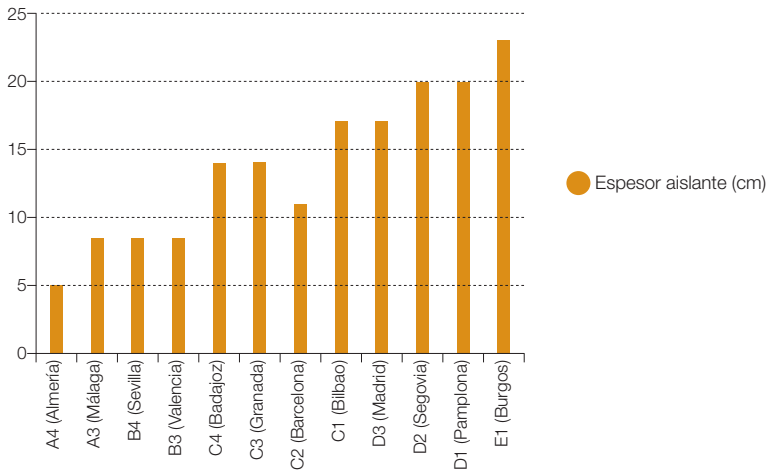
El edificio considerado incorpora todos los elementos del contexto E3.0 del apartado anterior y además para cada emplazamiento implementa el nivel óptimo de aislamiento de cubierta determinado en el apartado anterior.

Como punto de partida, la figura 360 nos recoge los requerimientos tanto de la regulación actual (CTE) como del estándar 90,1-2004 que hemos adoptado para describir el contexto BAU. Como podemos observar, especialmente en los emplazamientos de elevada severidad climática, el BAU representa una gran mejora en el nivel de aislamiento frente a la regulación actual.

Los estudios paramétricos de espesor de aislante en suelo se han desarrollado para los valores óptimos del espesor de aislante en paredes y cubierta determinados en los puntos anteriores.

La figura 361 reproduce los resultados para Madrid (zona D3 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 16,9 cm⁷⁷¹.

Figura 359. Agrupación de los espesores óptimos de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) de la cubierta adoptados para cada emplazamiento climático.



771 Este valor con decimales corresponde a que este es el espesor BAU, obtenido al imponer que la solución constructiva cumpla el requerimiento del std 90,1-2004.

Figura 360. Espesores de aislamiento (para aislante de conductividad 0,04 W/mK) requeridos por la regulación actual en España (CTE) y por la regulación que hemos adoptado como referencia para definir el escenario BAU (std 90.1-2004 de ASHRAE).

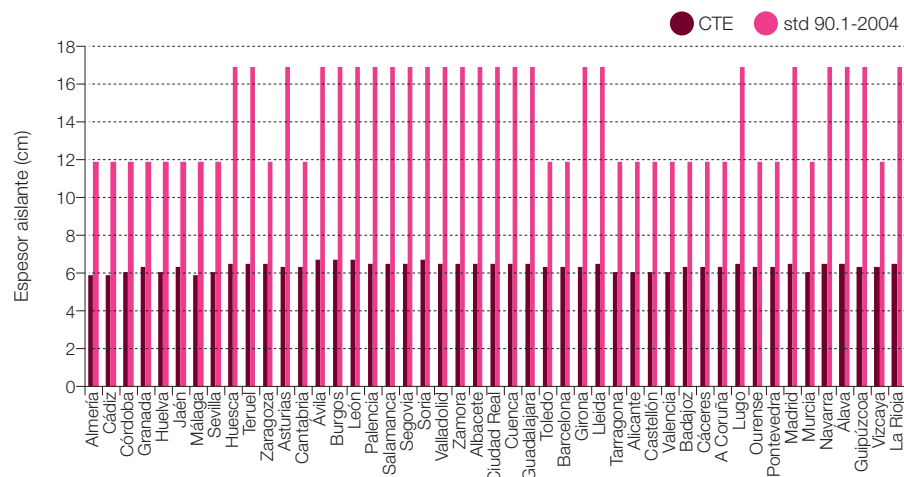


Figura 361. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) en suelo sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared y cubierta óptimas. Madrid (D3). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 16,9 cm, mientras que el BAU implementa 16,9 cm y el CTE exige 6,51 cm.

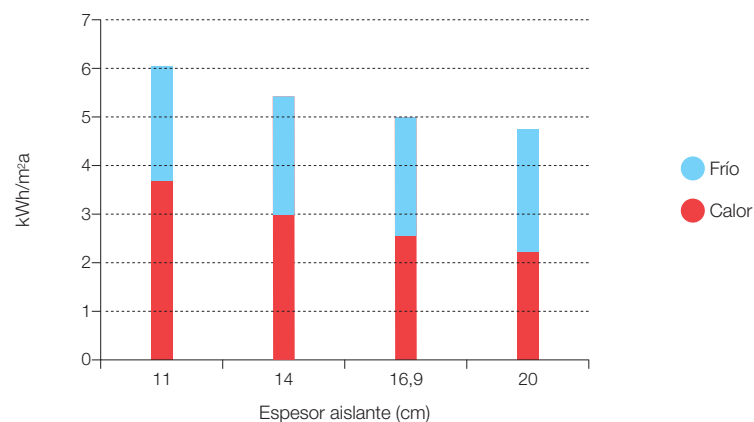


Figura 362. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04$ W/mK) en suelo sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared y cubierta óptimas. Almería (A4). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 6 cm, mientras que el BAU implementa 11,91 cm y el CTE exige 5,90 cm.

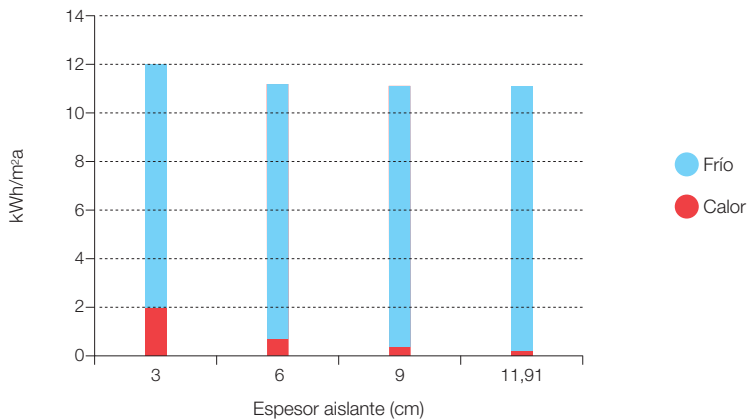
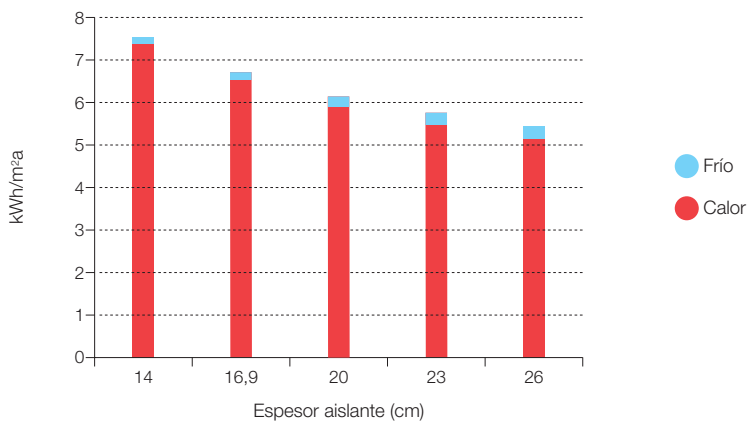


Figura 363. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04$ W/mK) en suelo sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared y cubierta óptimas. Burgos (E1). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 23 cm, mientras que el BAU implementa 16,9 cm y el CTE exige 6,68 cm.



La figura 362 reproduce los resultados para Almería (zona A4 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 6 cm⁷⁷².

La figura 363 reproduce los resultados para Burgos (zona E1 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 23 cm.

⁷⁷² Nótese que este valor es significativamente inferior al BAU.

Figura 364. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04$ W/mK) en suelo sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared y cubierta óptimas. Segovia (D2). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 20 cm, mientras que el BAU implementa 16,9 cm y el CTE exige 6,51 cm.

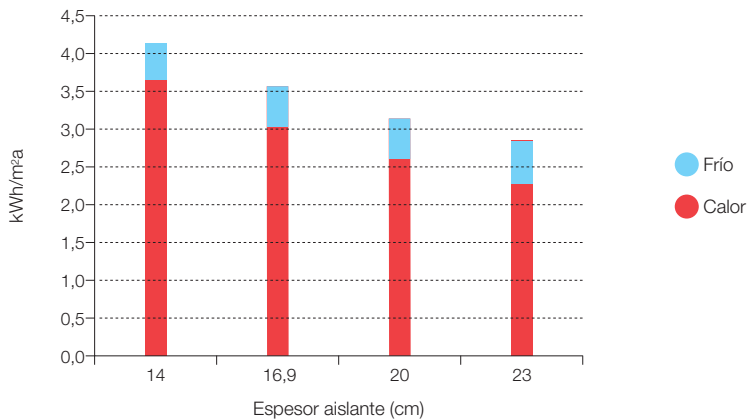
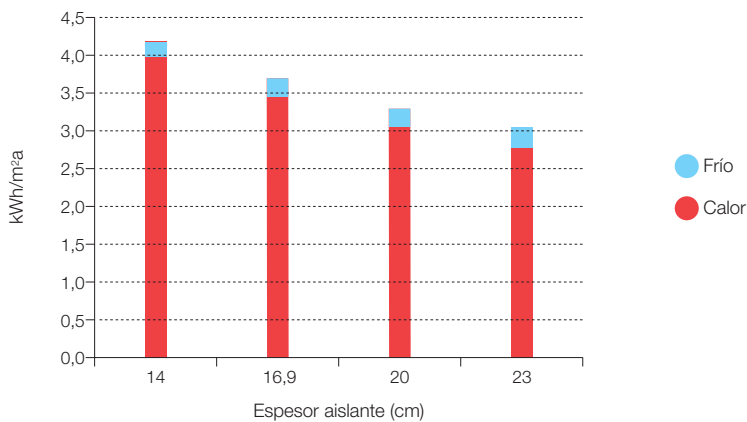


Figura 365. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04$ W/mK) en suelo sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared y cubierta óptimas. Pamplona (D1). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 16,9 cm, mientras que el BAU implementa 16,9 cm y el CTE exige 6,51 cm.



La figura 364 reproduce los resultados para Segovia (zona D2 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 20 cm.

La figura 365 reproduce los resultados para Pamplona (zona D1 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 16,9 cm⁷⁷³.

773 Igual al BAU.

Figura 366. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04$ W/mK) en suelo sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared y cubierta óptimas. Badajoz (C4). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 9 cm, mientras que el BAU implementa 11,91 cm y el CTE exige 6,35 cm.

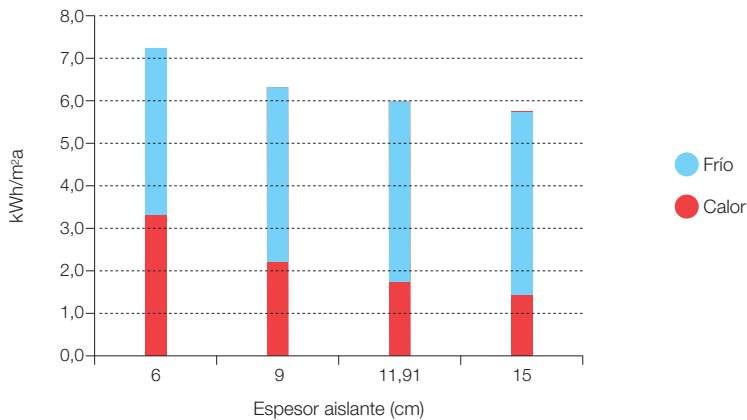
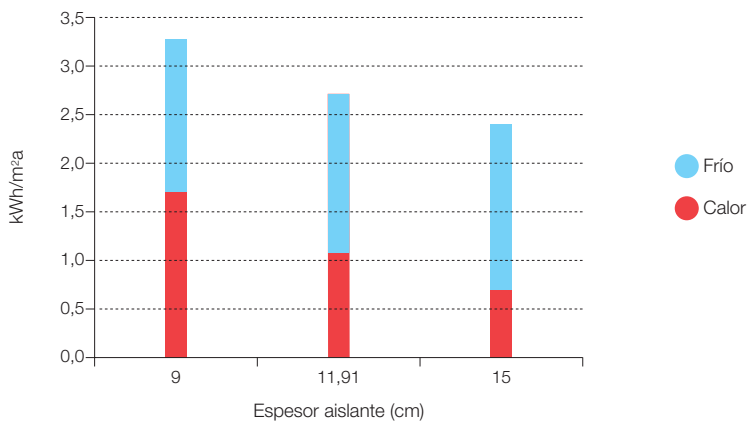


Figura 367. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04$ W/mK) en suelo sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared y cubierta óptimas. Granada (C3). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 11,91 cm, mientras que el BAU implementa 11,91 cm y el CTE exige 6,35 cm.



La figura 366 reproduce los resultados para Badajoz (zona C4 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 9 cm⁷⁷⁴.

La figura 367 reproduce los resultados para Granada (zona C3 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 11,91 cm⁷⁷⁵.

⁷⁷⁴ Inferior al BAU.
⁷⁷⁵ Igual al BAU.

Figura 368. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04$ W/mK) en suelo sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared y cubierta óptimas. Barcelona (C2). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 11,91 cm, mientras que el BAU implementa 11,91 cm y el CTE exige 6,35 cm.

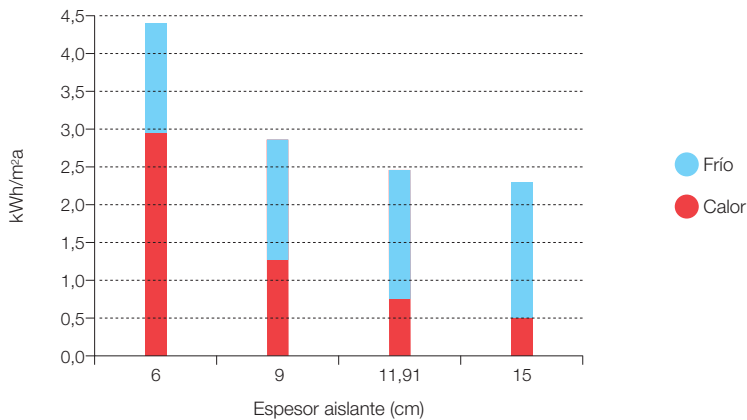
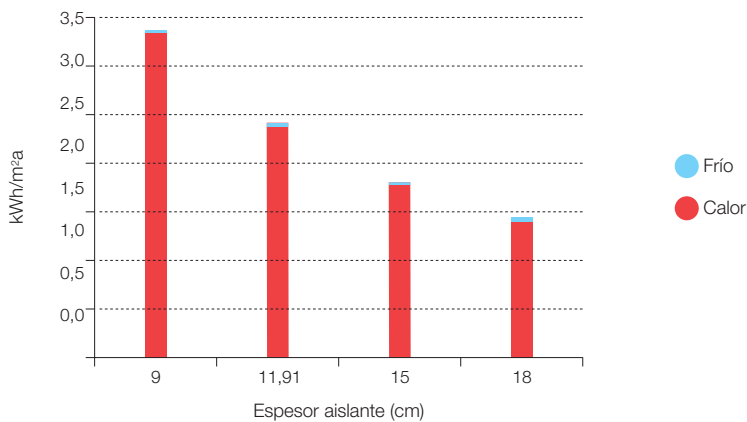


Figura 369. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04$ W/mK) en suelo sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared y cubierta óptimas. Bilbao (C1). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 15 cm, mientras que el BAU implementa 11,91 cm y el CTE exige 6,35 cm.



La figura 368 reproduce los resultados para Barcelona (zona C2 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 11,91 cm⁷⁷⁶.

La figura 369 reproduce los resultados para Bilbao (zona C1 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 15 cm.

⁷⁷⁶ Igual al BAU.

Figura 370. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04$ W/mK) en suelo sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared y cubierta óptimas. Sevilla (B4). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 9 cm, mientras que el BAU implementa 11,91 cm y el CTE exige 6,04 cm.

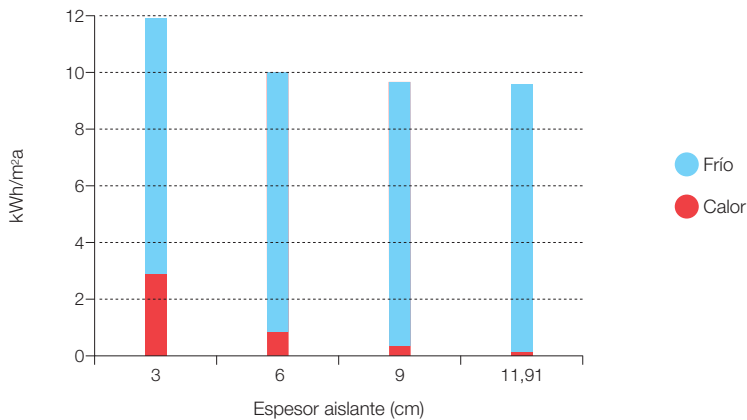
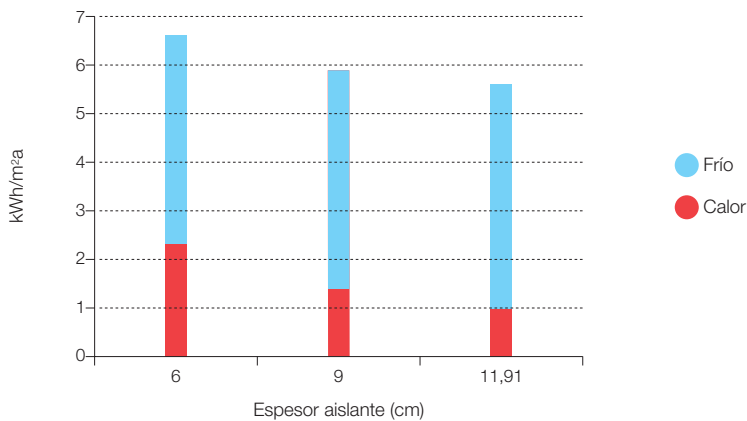


Figura 371. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04$ W/mK) en suelo sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared y cubierta óptimas. Valencia (B3). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 9 cm, mientras que el BAU implementa 11,91 cm y el CTE exige 6,04 cm.



La figura 370 reproduce los resultados para Sevilla (zona B4 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 9 cm⁷⁷⁷.

La figura 371 reproduce los resultados para Valencia (zona B3 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 9 cm⁷⁷⁸.

⁷⁷⁷ Inferior al BAU.
⁷⁷⁸ Inferior al BAU.

Figura 372. Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ($k = 0,04$ W/mK) en suelo sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared y cubierta óptimas. Málaga (A3). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 6 cm, mientras que el BAU implementa 11,91 cm y el CTE exige 5,90 cm.

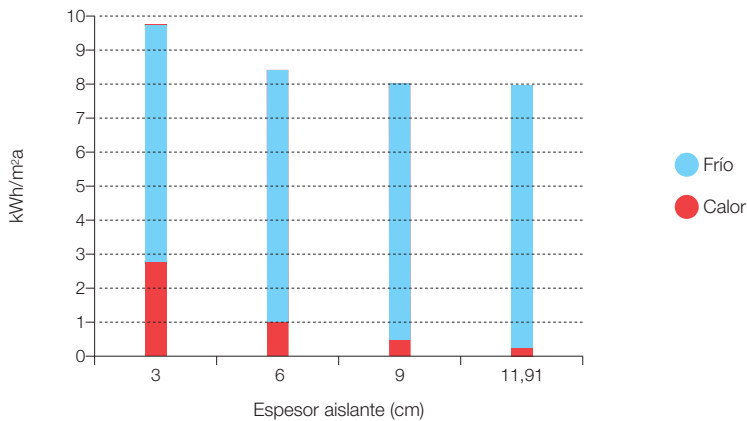
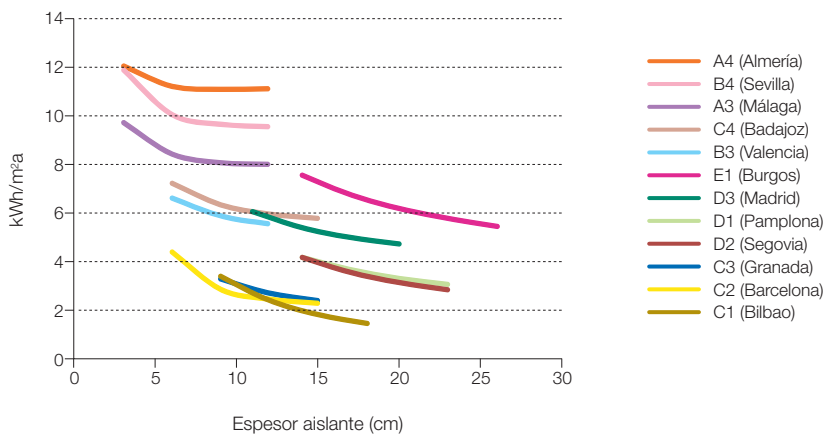


Figura 373. Comparativa entre los distintos niveles asintóticos de la demanda de servicios de climatización a la que nos conduce la aplicación de aislamiento ($k = 0,04$ W/mK) en el suelo (con valores óptimos de aislamiento en pared y cubierta).

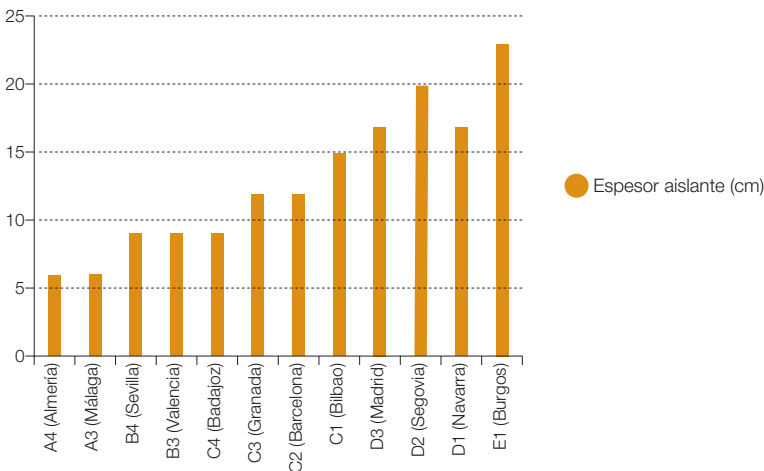


La figura 372- reproduce los resultados para Málaga (zona A3 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 6 cm⁷⁷⁹.

En la figura 373 recogemos los resultados de los distintos estudios paramétricos para poder observar de forma comparativa entre distintos

779 Inferior al BAU.

Figura 374. Agrupación de los espesores óptimos de aislante ($k = 0,04 \text{ W/mK}$) de el suelo adoptados para cada emplazamiento climático.



emplazamientos climáticos su efecto sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Como podemos observar, los emplazamientos con elevada severidad climática de verano se quedan con una demanda residual superior a los de mayor severidad climática de invierno. Los valores finales de la demanda de servicios de climatización resultantes en la mayoría de emplazamientos son muy bajos, de tal forma que al aplicar tecnologías eficientes de generación van a conducir a una componente prácticamente despreciable en la estructura de energía final del contexto E3.0.

La figura 374 recoge los valores del aislamiento óptimo elegido para el suelo en cada uno de los emplazamientos climáticos.

3.7.7.1.1.5 Caracterización final BAU & E3.0 de la tipología unifamiliar

Uno 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. En efecto, las figuras 375 a 378 nos muestran la evolución diaria del consumo⁷⁸⁰ de energía final⁷⁸¹ para los emplazamientos climáticos de Almería y Burgos⁷⁸². El origen de esta gran regularización es que el consumo energético, asociado a la cobertura de la demanda de energía térmica para climatización, se reduce tanto en el contexto E3.0 que los equipamientos pasan a dominar la estructura de la demanda, perdiéndose en gran medida la dependencia climática de la distribución estacional del consumo de energía asociado a los edificios.

⁷⁸⁰ Nótese que así como en los apartados anteriores presentábamos los valores de las demandas de servicios (fundamentalmente de climatización), aquí pasamos ya a reflejar los valores de los consumo de energía final, incorporando el efecto de los equipamientos empleados para cubrir las demandas de servicios de acuerdo con este consumo de energía final.

⁷⁸¹ En este caso sin considerar la aportación de solar térmica para ACS. Además, los COP de calor y frío en el contexto E3.0 son para este ejemplo ligeramente superiores a los finalmente adoptados. Más adelante presentaremos los resultados anuales para los COP finalmente adoptados para representar el contexto E3.0.

⁷⁸² Nótese que en el contexto E3.0 la electrificación es del 100%.

Figura 375. Evolución diaria del consumo de energía final para Almería en el contexto BAU.

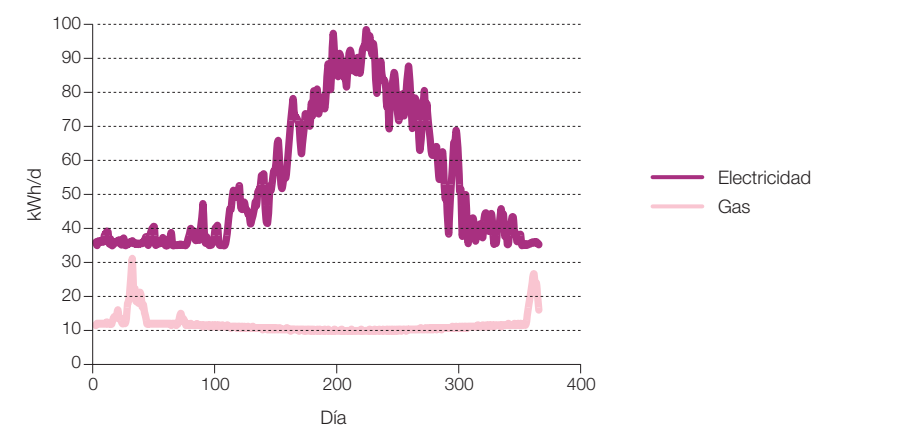


Figura 376. Evolución diaria del consumo de energía final para Almería en el contexto E3.0.

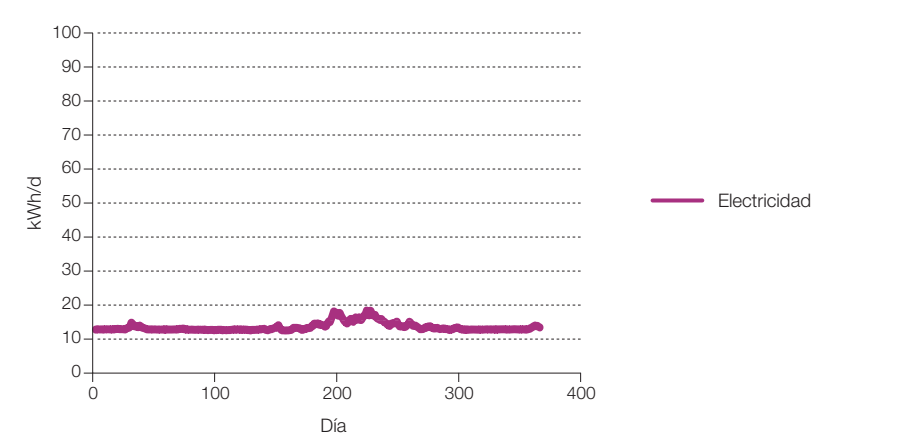


Figura 377. Evolución diaria del consumo de energía final para Burgos en el contexto BAU.

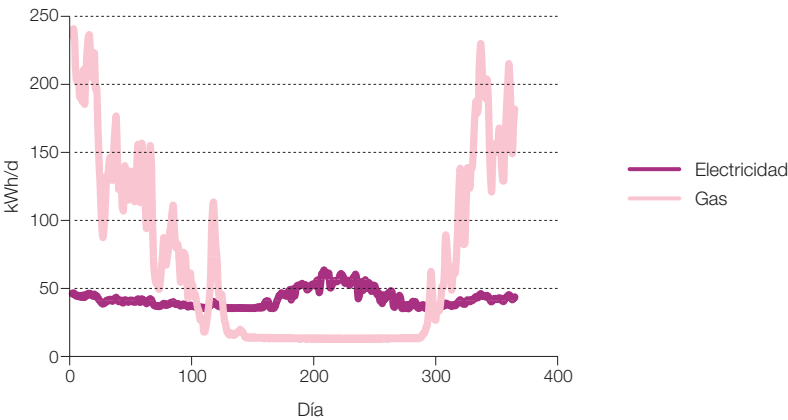
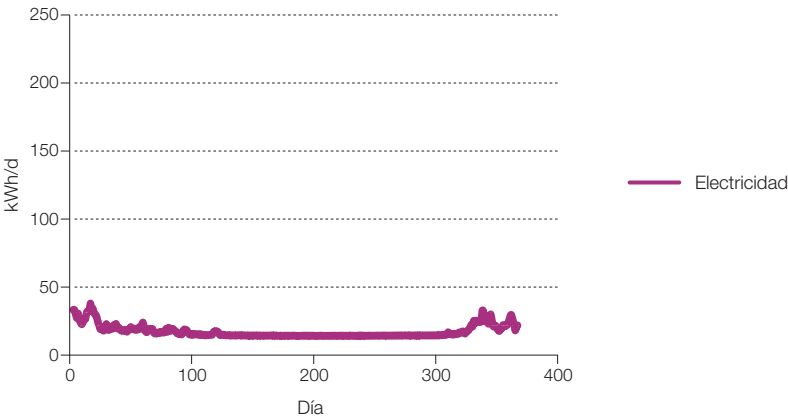


Figura 378. Evolución diaria del consumo de energía final para Burgos en el contexto E3.0.



En las figuras 379 a 382 recogemos la estructura del consumo de energía final⁷⁸³ en los dos emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos⁷⁸⁴. Como pode-

mos observar, al evolucionar hacia el contexto E3.0 los equipamientos pasan a constituir la componente principal del consumo energético.

Figura 379. Estructura de la demanda de energía final para la vivienda unifamiliar en Almería y el contexto BAU.

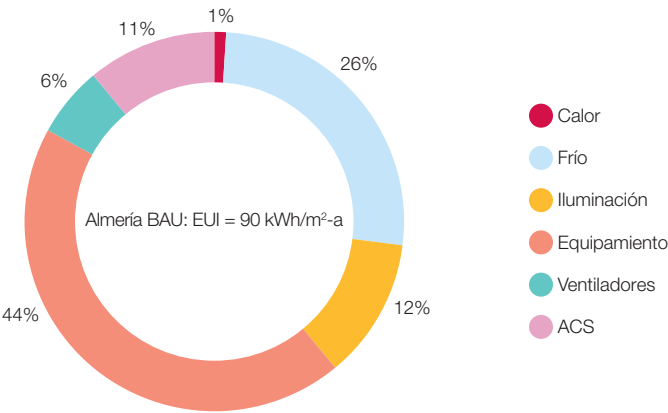
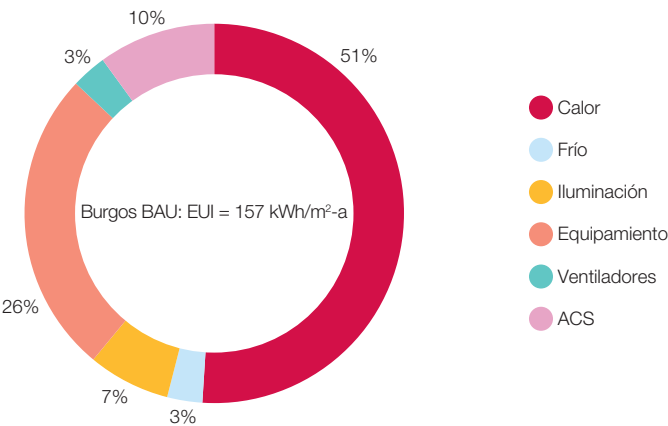


Figura 380. Estructura de la demanda de energía final para la vivienda unifamiliar en Burgos y el contexto BAU.



783 La EUI (Energy Use Intensity) que aparece en estos gráficos es el consumo total de energía final en términos específicos, descontando el aporte autónomo de la solar térmica para la cobertura parcial del ACS.

784 Incorporando ya en este caso tanto los valores finales de los rendimientos de caldera y COP de enfriadoras y bombas de calor (rendimientos de los equipos empleados para cubrir la demanda de servicios). Así mismo estos resultados ya descuentan el aporte de energía solar térmica autónoma para la cobertura del ACS.

Figura 381. Estructura de la demanda de energía final para la vivienda unifamiliar en Almería y el contexto E3.0.

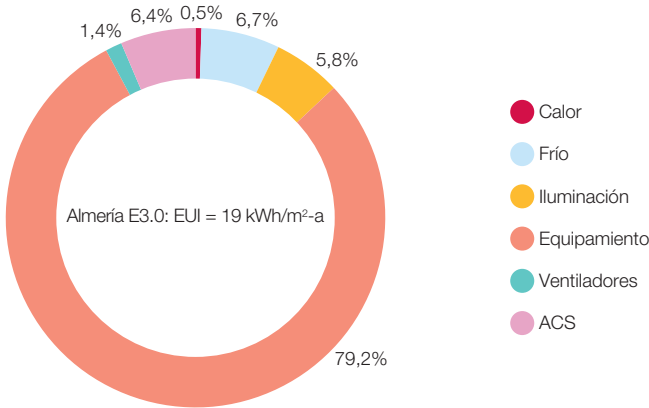
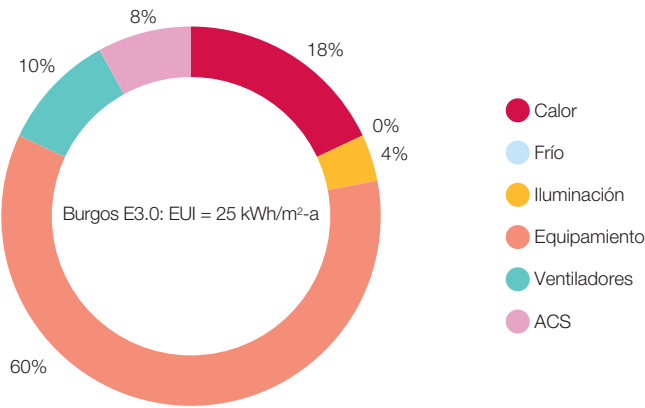


Figura 382. Estructura de la demanda de energía final para la vivienda unifamiliar en Burgos y el contexto E3.0.



En la figura 383 presentamos el ratio entre energía regulada y energía total y su evolución al pasar del contexto BAU al E3.0 en estos dos emplazamientos climáticos. Como podemos observar, ya en el contexto BAU la componente regulada representa tan solo del orden del 40%-65% de consumo final, y al

pasar al contexto E3.0 este porcentaje se reduce hasta valores del orden del 15%-30%, quedando fuera del alcance de la regulación la mayoría del consumo energético del edificio. Por este motivo resulta recomendable que se emplee como indicador del desempeño energético del edificio su consumo total

de energía final, y que la regulación incorpore todas las componentes del consumo si su finalidad es contribuir a dirigir el sector edificación hacia mayores niveles de eficiencia.

En el caso de analizar el ratio entre energía para climatizar respecto a total, la figura 384 nos muestra cómo se llega a reducir esta componente de la demanda en el contexto E3.0.

Por lo que respecta al incremento de eficiencia al pasar del contexto BAU al E3.0, en la figura 385 podemos observar cómo en términos de energía total los ahorros alcanzados llegan a ser del orden del 80% -85%, incrementándose al considerar los ahorros en términos de energía regulada o de climatización, llegando en este último caso a obtener niveles de ahorro en las demandas de energía regulada y de climatización del orden del 95%.

Figura 383. Fracción de consumo de energía regulado respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Vivienda unifamiliar.

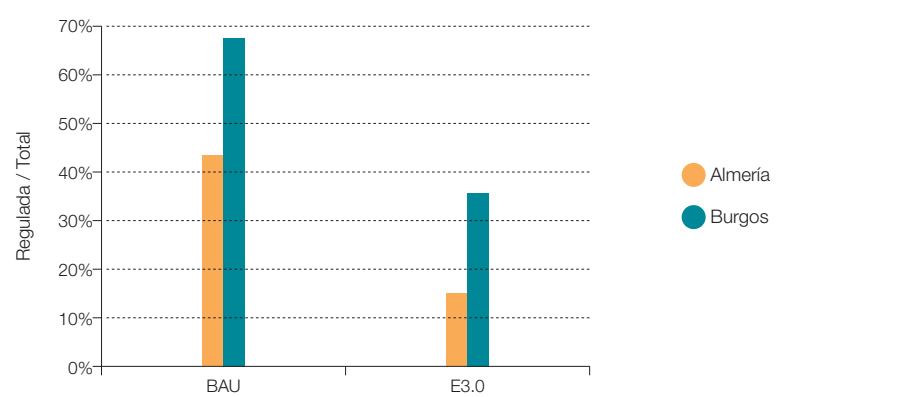


Figura 384. Fracción de consumo de energía para climatización respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Vivienda unifamiliar.

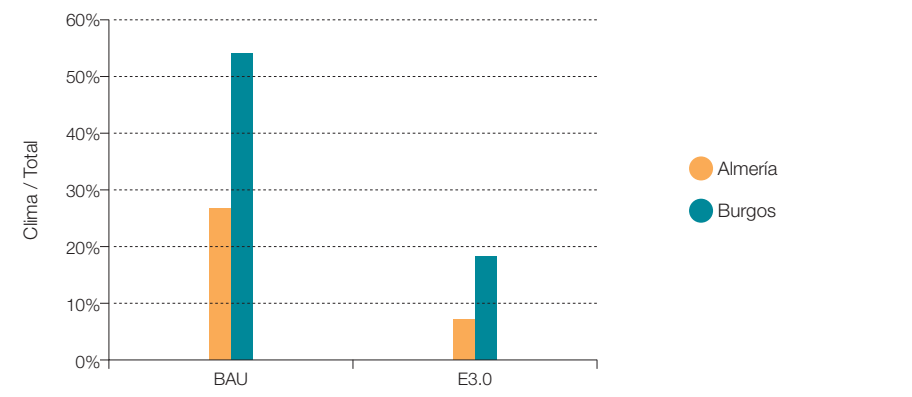


Figura 385. Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Vivienda unifamiliar.

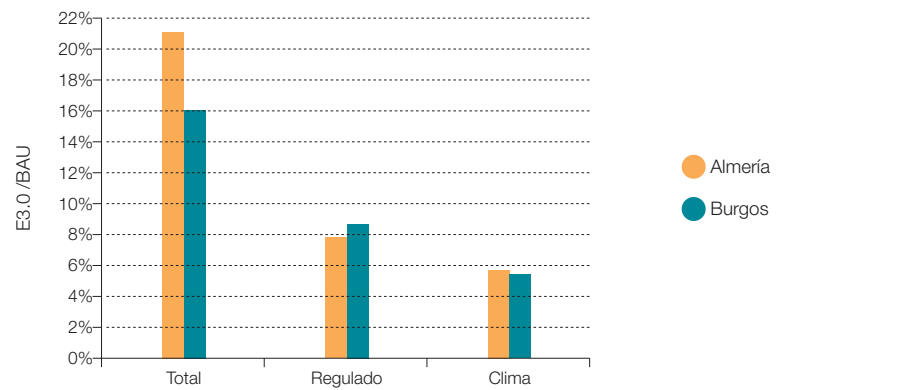
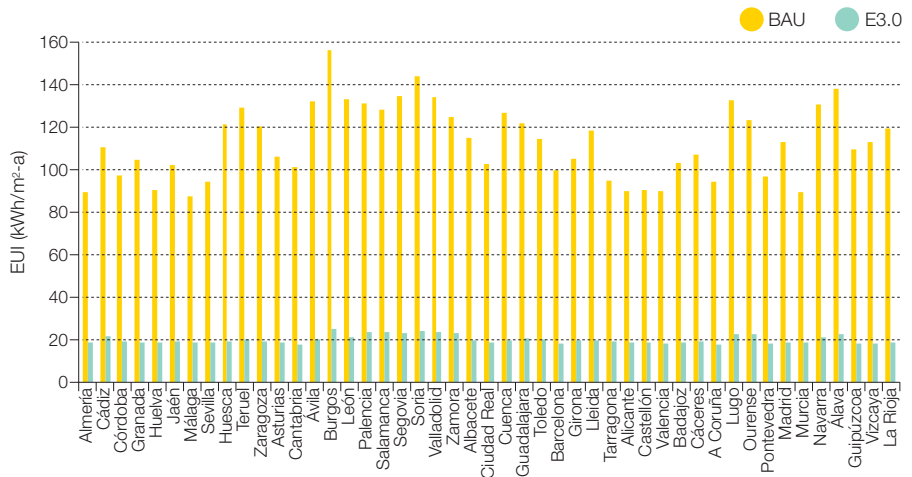


Figura 386. Distribución provincial del consumo de energía final total para los contextos BAU y E3.0. Vivienda unifamiliar.



Finalmente, por lo que respecta a la distribución provincial del consumo total de energía final, tanto para el contexto BAU como para el E3.0, la figura 386 recoge los resultados correspondientes. Como podemos observar, en todos los emplazamientos climáticos se alcanza un elevado nivel de ahorro, obteniendo

para el contexto E3.0 una distribución muy homogénea del consumo total de energía de esta tipología de edificios.

3.7.7.1.2 Residencial bloque

En este apartado vamos a recopilar la caracterización del desempeño energético del modo de edificio residencial en bloque. Tal y como indicamos anteriormente, por limitación en el alcance de este trabajo, no vamos a repetir los estudios paramétricos desarrollados en el caso del edificio residencial unifamiliar,

para caracterizar los niveles óptimos de aislamiento de la envolvente del edificio, empleando para todos⁷⁸⁵ los modos de edificio en el contexto E3.0 los valores de aislamiento seleccionados en los estudios paramétricos del edificio residencial unifamiliar.

En las figuras 387 y 388 mostramos la estructura de la demanda final de energía⁷⁸⁶ en

Figura 387. Estructura de la demanda de energía final para el bloque de viviendas en Almería y el contexto BAU.

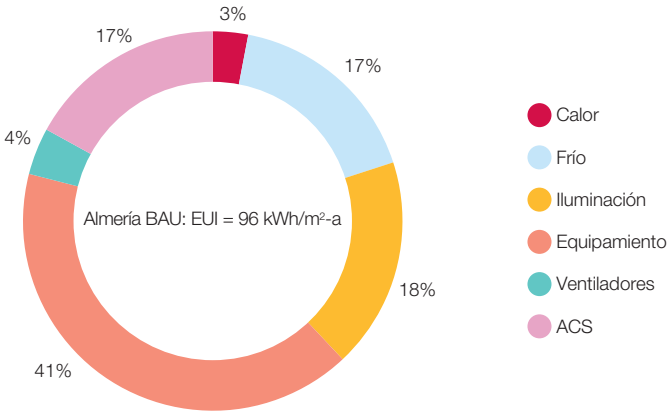
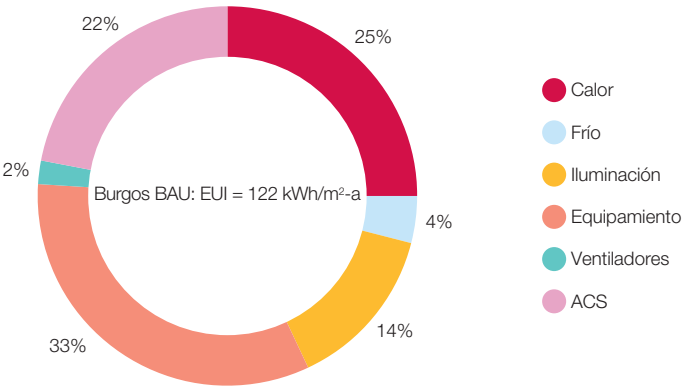


Figura 388. Estructura de la demanda de energía final para el bloque de viviendas en Burgos y el contexto BAU.



785 Es evidente que las distintas tipologías y condiciones de uso de los distintos modos de edificios conducirían a valores inferiores del valor óptimo de espesor de aislante, por lo que es totalmente recomendable acometer este análisis edificio a edificio en el marco del proyecto de cada edificio. Sin embargo, para los fines perseguidos en este informe, esto es la caracterización del potencial de ahorro en el sector edificación, consideramos suficiente la aproximación adoptada. En efecto, el edificio unifamiliar es de los edificios de menor tamaño y compacidad considerados, así como de los que menores cargas internas tiene tanto por horario de operación como por nivel de equipamientos. En estas condiciones cabe esperar que los valores más elevados del nivel óptimo de aislamiento surjan en esta tipología de edificio, y tal y como vimos en el punto dedicado al análisis de la economía del ahorro, una vez superado el valor óptimo del aislamiento las prestaciones del edificio y sus costes totales presentaban una dependencia funcional de pendiente casi nula con el espesor de aislamiento.

786 Descontando la aportación solar térmica autónoma.

los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU, mientras que las figuras 389 y 390 nos muestran las correspondientes demandas de energía en estos dos emplazamientos climáticos para el contexto E3.0.

El primer aspecto que salta a la vista al pasar al contexto E3.0 es la estructura tipo “jarro de

flores” que adopta la demanda energética, con un gran predominio de la demanda energética de los equipamientos sobre el resto de los componentes de demanda. También merece la pena de resaltarse la inversión del orden en cuanto a demanda energética total, pasando⁷⁸⁷ el emplazamiento de mayor demanda en contexto BAU (el de mayor severidad climática de invierno) a ser el de menor

Figura 389. Estructura de la demanda de energía final para el bloque de viviendas en Almería y el contexto E3.0.

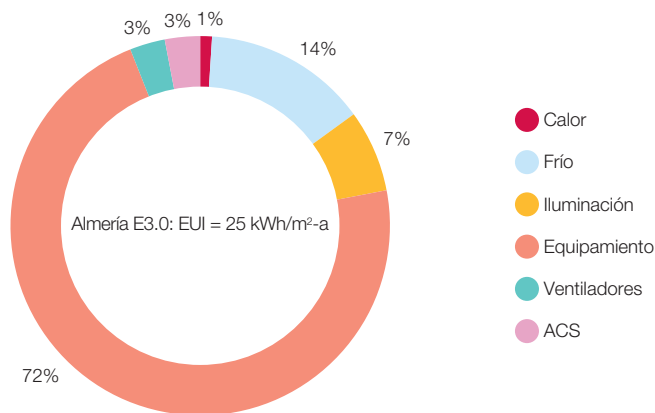
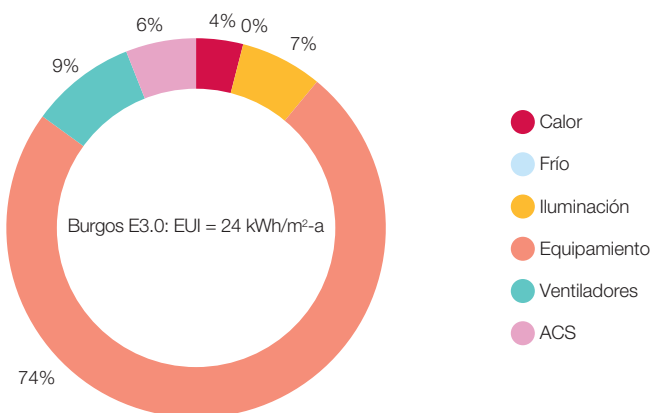


Figura 390. Estructura de la demanda de energía final para el bloque de viviendas en Burgos y el contexto E3.0.



⁷⁸⁷ Consecuencia de una mayor efectividad de las medidas pasivas destinadas a reducir la demanda de calefacción que las asociadas a la reducción de la demanda de refrigeración.

demanda en contexto E3.0, aunque la diferencia en contexto E3.0 entre ambos emplazamientos es realmente pequeña.

En la figura 391 presentamos el ratio entre energía regulada y energía total, y su evolución al pasar del contexto BAU al E3.0 en estos dos emplazamientos climáticos. Como podemos observar, si incluso en el contexto

BAU la parte regulada constituye tan solo del orden de la mitad del consumo de energía total, en el contexto E3.0 apenas llega a un 20%. Este resultado nos indica la necesidad de centrarnos en el consumo de energía total a la hora de analizar los requerimientos de reducción, y como consecuencia, la conveniencia de regular el total del consumo energético en lugar de tan solo una pequeña fracción si

Figura 391. Fracción de consumo de energía regulado respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Bloque de viviendas.

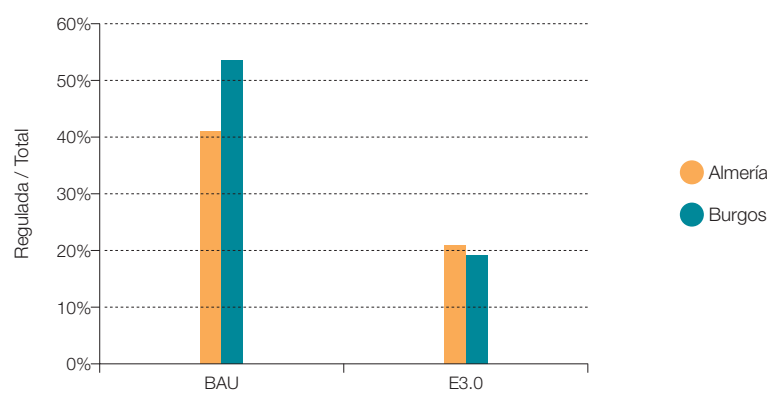
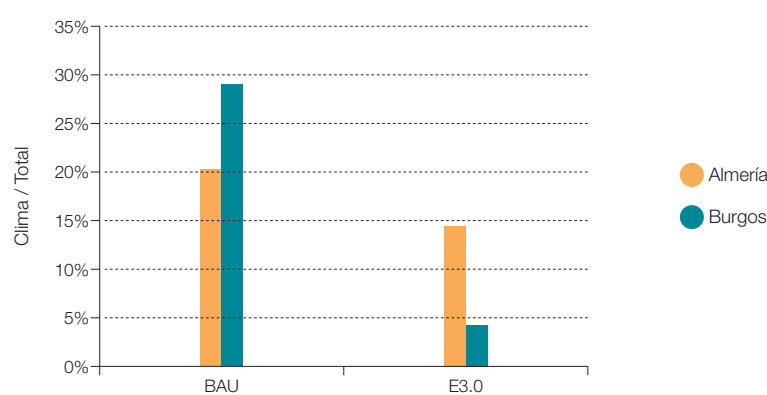


Figura 392. Fracción de consumo de energía para climatización respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Bloque de viviendas.



queremos que esa regulación sirva para re-
conducir el sector de la edificación hacia ma-
yores niveles de eficiencia.

En el caso de analizar el ratio entre energía
para climatizar respecto a la total, la figura
392 nos muestra cómo se llega a reducir

esta componente de la demanda en el con-
texto E3.0, especialmente en los emplaza-
mientos de elevada severidad climática de in-
vierno. En efecto, en estos emplazamientos el
consumo de energía para climatizar pasa de
ser la componente dominante de la demanda
en el contexto BAU a ser una componente

Figura 393. Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del
contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Bloque de viviendas.

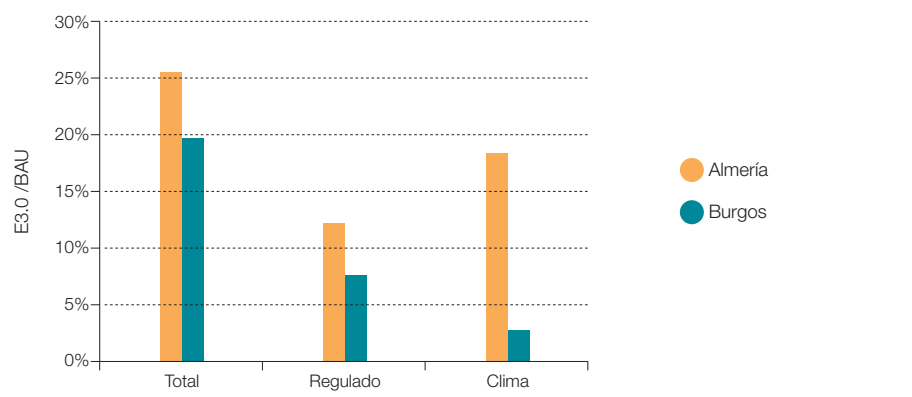
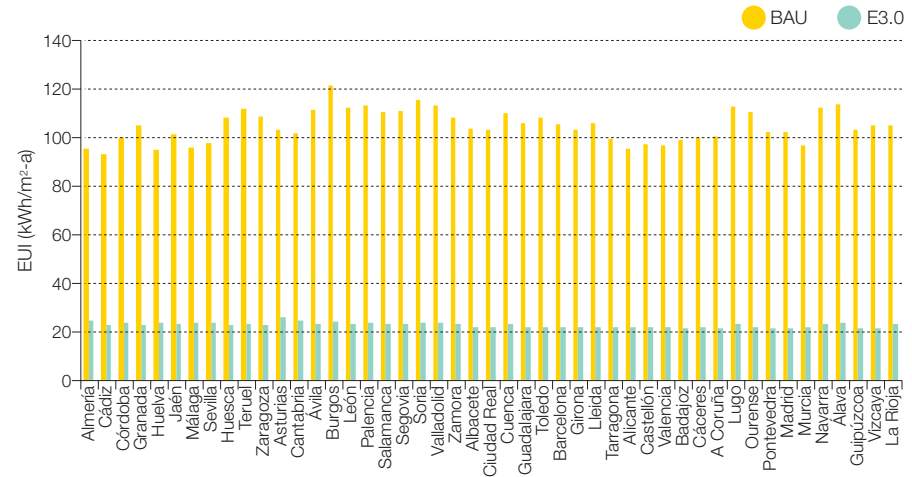


Figura 394. Distribución provincial del consumo de energía final total para los contextos
BAU y E3.0. Bloque de viviendas.



prácticamente irrelevante. A ello contribuyen por un lado la gran reducción de la demanda del edificio, y por otro lado a la gran eficiencia de las bombas de calor para cubrir esa demanda residual.

Por lo que respecta al incremento de eficiencia al pasar del contexto BAU al E3.0, en la figura 393 podemos observar cómo en términos de energía total los ahorros alcanzados llegan a ser del orden del 80%, y se incrementan al considerar los ahorros en términos de energía regulada o de climatización, y llegan, para el caso de emplazamientos de elevada severidad climática de invierno⁷⁸⁸, a obtener niveles de ahorro en las demandas de energía regulada y de climatización del orden del 95%.

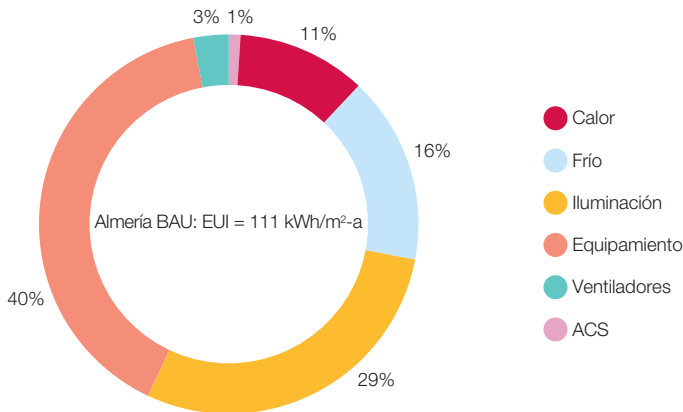
Finalmente, por lo que respecta a la distribución provincial del consumo total de energía

final, tanto para el contexto BAU como para el E3.0, la figura 394 recoge los resultados correspondientes. Como podemos observar, en todos los emplazamientos climáticos se alcanza un elevado nivel de ahorro, y se obtiene para el contexto E3.0 una distribución muy homogénea del consumo total de energía de esta tipología de edificios.

3.7.7.1.3 Oficina

En las figuras 395 y 396 mostramos la estructura de la demanda final de energía⁷⁸⁹ en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU, mientras que las figuras 397 y 398 nos muestran las correspondientes demandas de energía en estos dos emplazamientos climáticos para el contexto E3.0.

Figura 395. Estructura de la demanda de energía final para la oficina en Almería y el contexto BAU.



⁷⁸⁸ Que son aquellos que en la actualidad consumen más energía y para los cuales la regulación actual permite unos mayores niveles de consumo.
⁷⁸⁹ Descontando la aportación solar térmica local.

Figura 396. Estructura de la demanda de energía final para la oficina en Burgos y el contexto BAU.

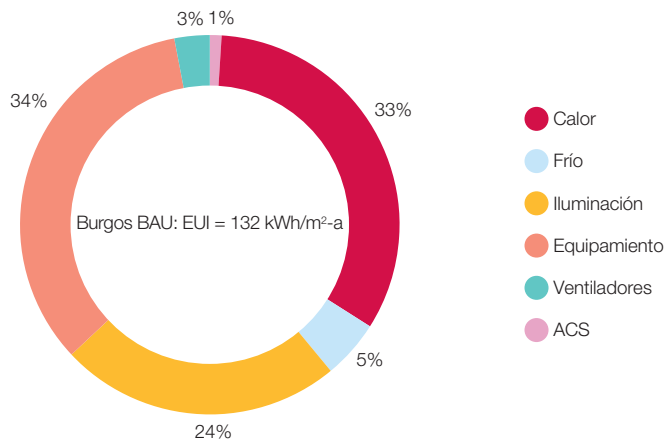


Figura 397. Estructura de la demanda de energía final para la oficina en Almería y el contexto E3.0.

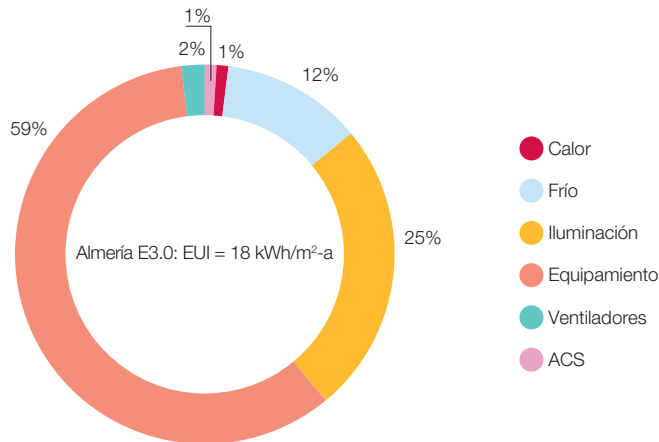
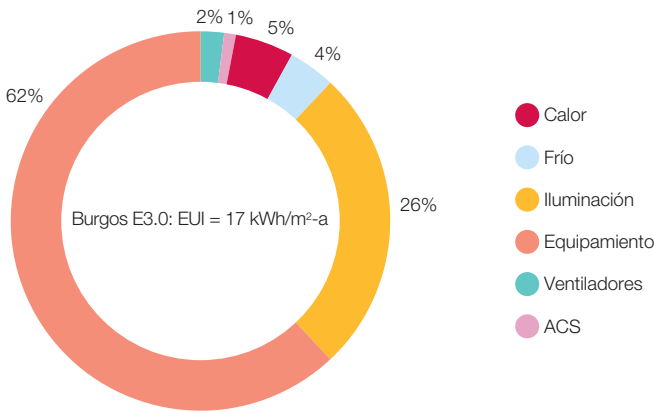


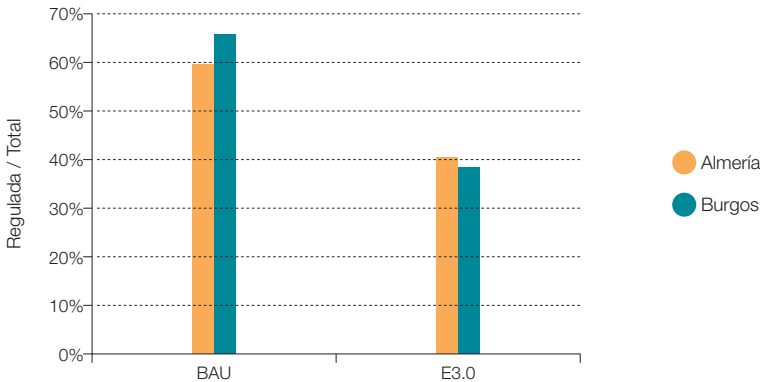
Figura 398. Estructura de la demanda de energía final para la oficina en Burgos y el contexto E3.0.



En la figura 399 presentamos el ratio entre energía regulada y energía total y su evolución al pasar del contexto BAU al E3.0 en estos dos emplazamientos climáticos. En el caso de los edificios terciarios, la parte regulada incluye la energía para iluminación. En este caso, la parte regulada representa un mayor porcentaje del consumo total que para los edificios residenciales, pero en el contexto E3.0 no llega

a un 40%. Este resultado nos indica la necesidad de centrarnos en el consumo de energía total a la hora de analizar los requerimientos de reducción, y como consecuencia, la conveniencia de regular el total del consumo energético en lugar de tan solo una pequeña fracción, si queremos que esa regulación sirva para reconducir el sector de la edificación hacia mayores niveles de eficiencia.

Figura 399. Fracción de consumo de energía regulado respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Oficina.



En el caso de analizar el ratio entre energía para climatizar respecto a total, la figura 400 nos muestra cómo se llega a reducir este componente de la demanda en el contexto E3.0, especialmente en los emplazamientos de elevada severidad climática de invierno. En efecto, en estos emplazamientos el consumo de energía para climatizar pasa de ser el componente dominante de la demanda en el contexto BAU a ser un componente de los menos importantes.

A ello contribuyen, por un lado, la gran reducción de la demanda del edificio, y por otro lado a la gran eficiencia de las bombas de calor para cubrir esa demanda residual.

Por lo que respecta al incremento de eficiencia al pasar del contexto BAU al E3.0, en la figura 401 podemos observar cómo en términos de energía total los ahorros alcanzados llegan a ser del orden del 86%, que se

Figura 400. Fracción de consumo de energía para climatización respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Oficina.

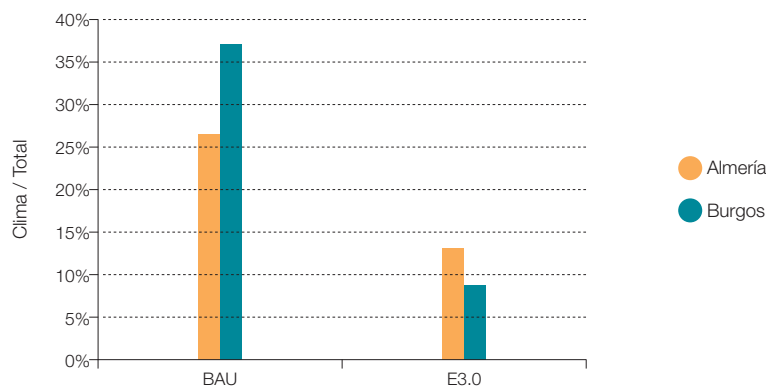
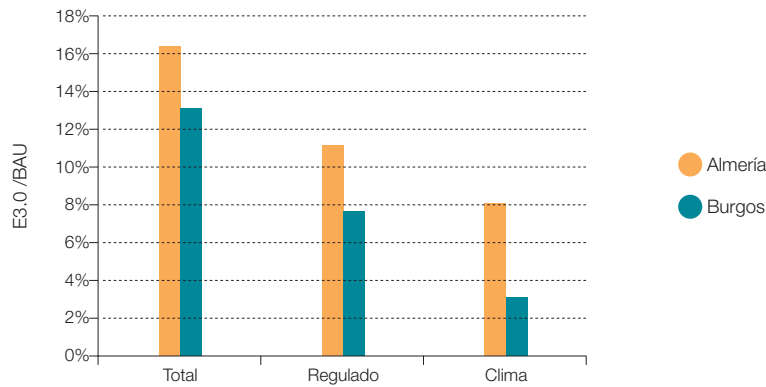


Figura 401. Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Oficina.



incrementan al considerar los ahorros en términos de energía regulada o de climatización, y llegan, para el caso de emplazamientos de elevada severidad climática de invierno⁷⁹⁰, a obtener niveles de ahorro en las demandas de energía regulada y de climatización del orden del 98%.

Finalmente, por lo que respecta a la distribución provincial del consumo total de energía final, tanto para el contexto BAU como para el E3.0, la figura 402 recoge los resultados correspondientes. Como podemos observar, en todos los emplazamientos climáticos se alcanza un elevado nivel de ahorro, y obtienen

Figura 402. Distribución provincial del consumo de energía final total para los contextos BAU y E3.0. Oficina.

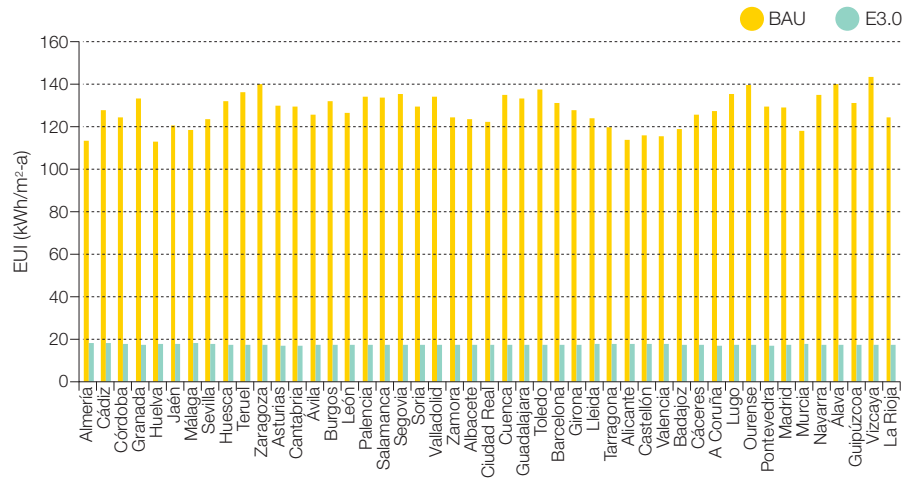
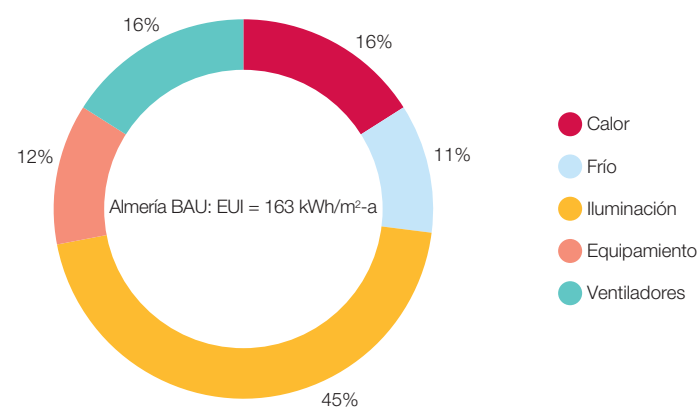


Figura 403. Estructura de la demanda de energía final para el comercio en Almería en contexto BAU.



790 Que son aquellos que en la actualidad consumen más energía y para los cuales la regulación actual permite unos mayores niveles de consumo.

para el contexto E3.0 una distribución muy homogénea del consumo total de energía de esta tipología de edificios.

3.7.7.1.4 Comercio

En las figuras 403 y 404 mostramos la estructura de la demanda final de energía⁷⁹¹ en los emplazamientos climáticos extremos de

Almería y Burgos para el contexto BAU, mientras que las figuras 405 y 406 nos muestran las correspondientes demandas de energía en estos dos emplazamientos climáticos para el contexto E3.0.

En la figura 407 presentamos el ratio entre energía regulada y energía total y su evolución al pasar del contexto BAU al E3.0 en estos dos emplazamientos climáticos. En el

Figura 404. Estructura de la demanda de energía final para el comercio en Burgos en contexto BAU.

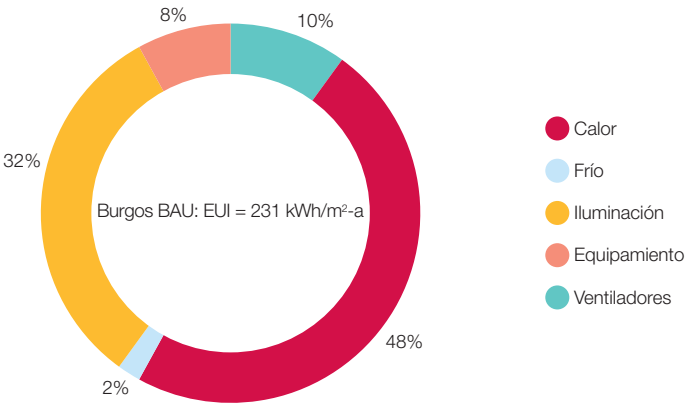
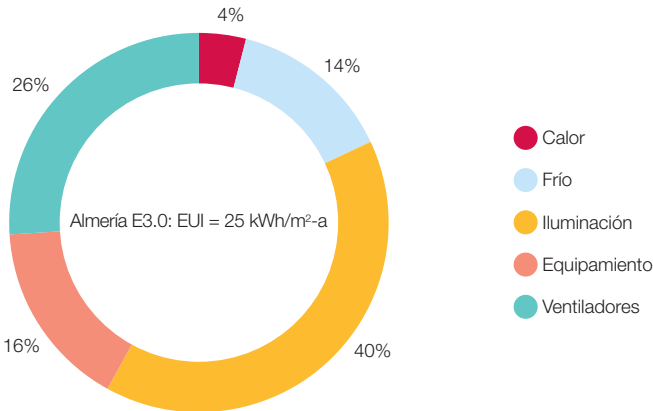


Figura 405. Estructura de la demanda de energía final para el comercio en Almería en contexto E3.0.



⁷⁹¹ Descontando la aportación solar térmica local.

Figura 406. Estructura de la demanda de energía final para el comercio en Burgos en contexto E3.0.

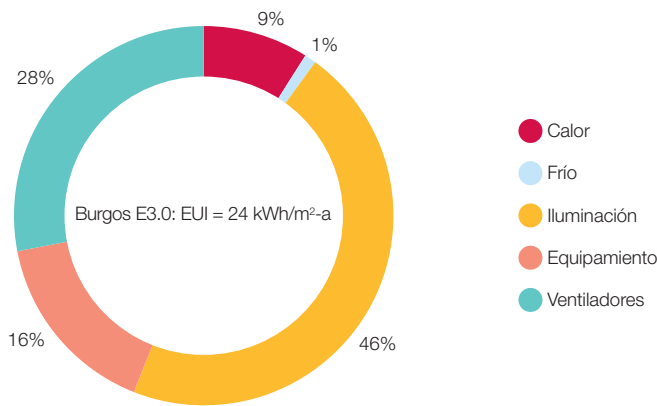
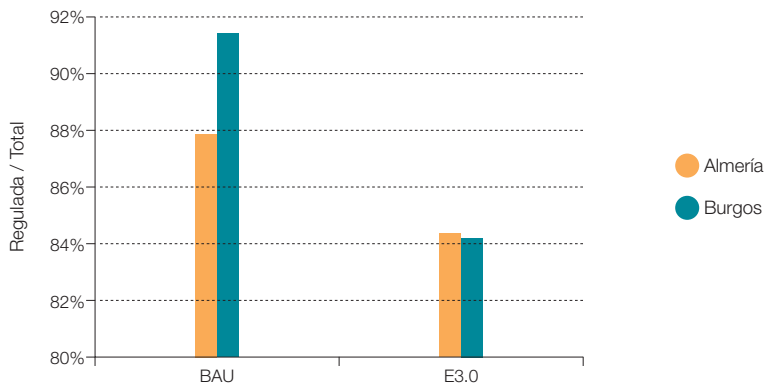


Figura 407. Fracción de consumo de energía regulado respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Comercio.

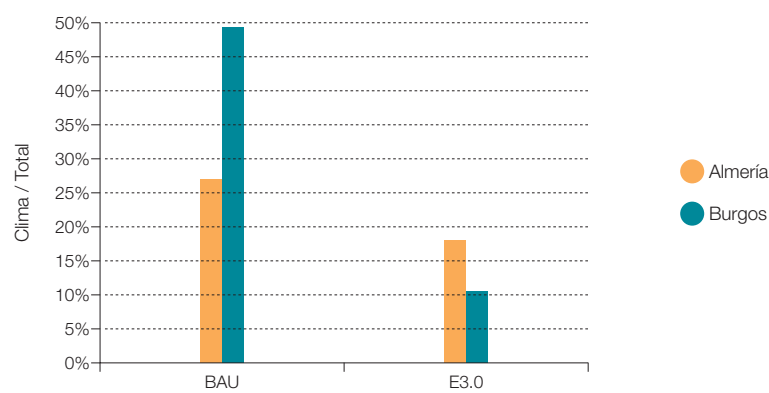


caso de los edificios terciarios, la parte regulada incluye la energía para iluminación. En este caso, la parte regulada representa la mayoría del consumo total debido al gran peso de la iluminación, sin embargo, en el contexto E3.0 se queda en el orden del 84%, lo cual sigue haciendo recomendable tomar como objetivo la energía total.

En el caso de analizar el ratio entre energía para climatizar respecto a total, la figura 408 nos muestra cómo se llega a reducir esta

componente de la demanda en el contexto E3.0, especialmente en los emplazamientos de elevada severidad climática de invierno. En efecto, en estos emplazamientos el consumo de energía para climatizar pasa de ser la componente dominante de la demanda en el contexto BAU a ser la componente menos importante. A ello contribuyen por un lado la gran reducción de la demanda del edificio, y por otro lado a la gran eficiencia de las bombas de calor para cubrir esa demanda residual.

Figura 408. Fracción de consumo de energía para climatización respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Comercio.

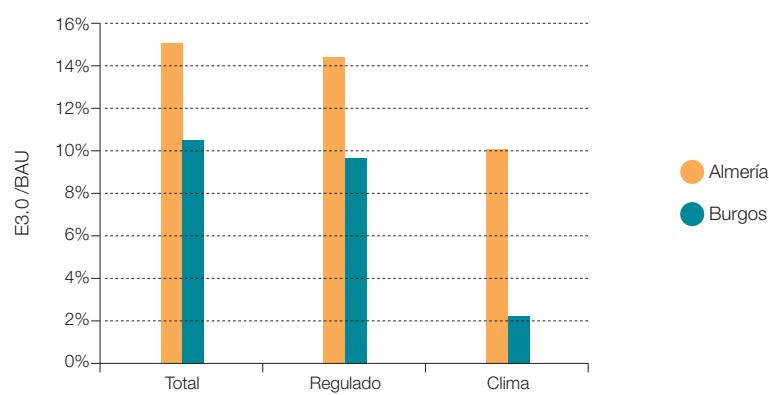


Por lo que respecta al incremento de eficiencia al pasar del contexto BAU al E3.0, en la figura 409 podemos observar cómo en términos de energía total los ahorros alcanzados llegan a ser del orden del 88%, que se incrementan al considerar los ahorros en términos de energía regulada o de climatización, y llegan, para el caso de emplazamientos de elevada severidad climática de

invierno⁷⁹², a obtener niveles de ahorro en las demandas de energía regulada y de climatización del orden del 98%.

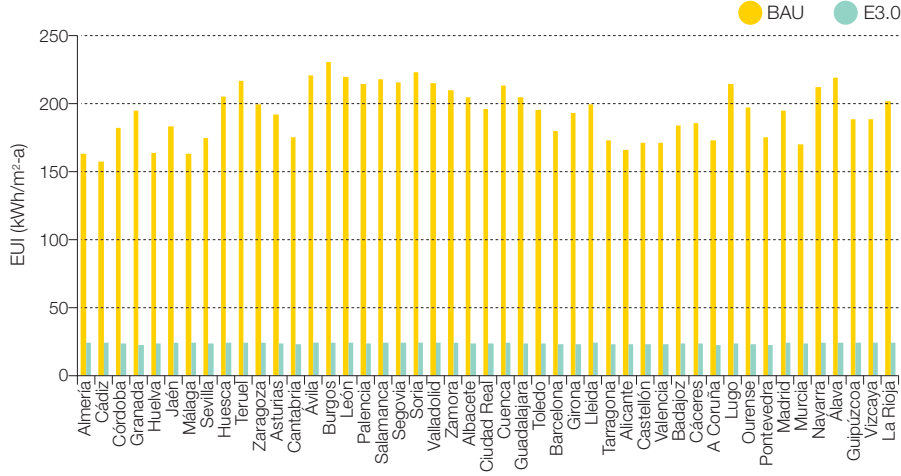
Finalmente, por lo que respecta a la distribución provincial del consumo total de energía final, tanto para el contexto BAU como para el E3.0, la figura 410 recoge los resultados correspondientes. Como podemos observar,

Figura 409. Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Comercio.



⁷⁹² Que son aquellos que en la actualidad consumen más energía y para los cuales la regulación actual permite unos mayores niveles de consumo.

Figura 410. Distribución provincial del consumo de energía final total para los contextos BAU y E3.0. Comercio.

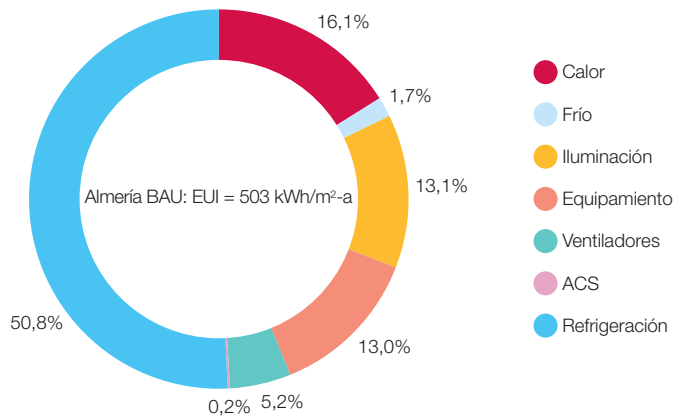


en todos los emplazamientos climáticos se alcanza un elevado nivel de ahorro, que obtiene para el contexto E3.0 una distribución muy homogénea del consumo total de energía de esta tipología de edificios.

3.7.7.1.5 Supermercado

El supermercado lo hemos diferenciado del resto de comercios, por la existencia de consumos asociados a la refrigeración de

Figura 411. Estructura de la demanda de energía final para el supermercado en Almería en contexto BAU.



alimentos⁷⁹³, que a su vez repercuten sobre el consumo de climatización del edificio.

En las figuras 411 y 412 mostramos la estructura de la demanda final de energía⁷⁹⁴ en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU, mientras que las figuras 413 y 414 nos

muestran las correspondientes demandas de energía en estos dos emplazamientos climáticos para el contexto E3.0.

Podemos 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

Figura 412. Estructura de la demanda de energía final para el supermercado en Burgos en contexto BAU.

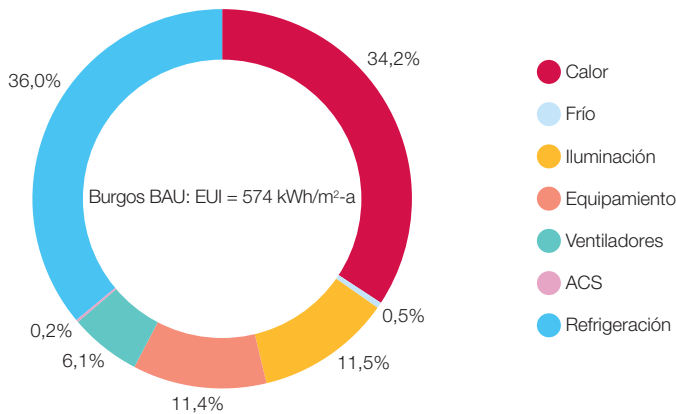
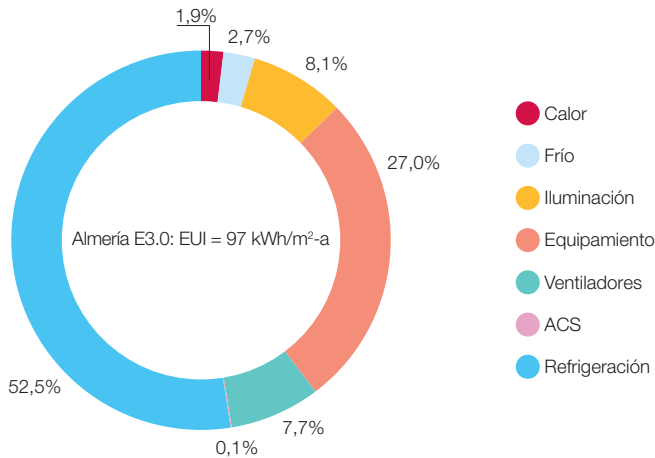


Figura 413. Estructura de la demanda de energía final para el supermercado en Almería en contexto E3.0.



⁷⁹³ Este tipo de elementos de consumo presentan un gran potencial para aplicaciones de gestión y respuesta de la demanda al integrar el sector edificación en el sistema energético.

⁷⁹⁴ Descontando la aportación solar térmica local.

su efecto indirecto sobre la demanda de calefacción. En el contexto E3.0 se consigue acotar mucho la demanda de calefacción, lo cual, junto a las mejoras en iluminación, conduce a que la refrigeración y los equipamientos dominan la estructura de la demanda energética.

En la figura 415 presentamos el ratio entre energía regulada y energía total y su evolución

al pasar del contexto BAU al E3.0 en estos dos emplazamientos climáticos. En el caso de los edificios terciarios, la parte regulada incluye la energía para iluminación. En este caso, las cargas de proceso (refrigeración de alimentos y otro equipamiento) dominan la estructura de la demanda energética, de tal forma que incluso en el contexto BAU la parte regulada de la demanda es tan solo del orden

Figura 414. Estructura de la demanda de energía final para el supermercado en Burgos en contexto E3.0.

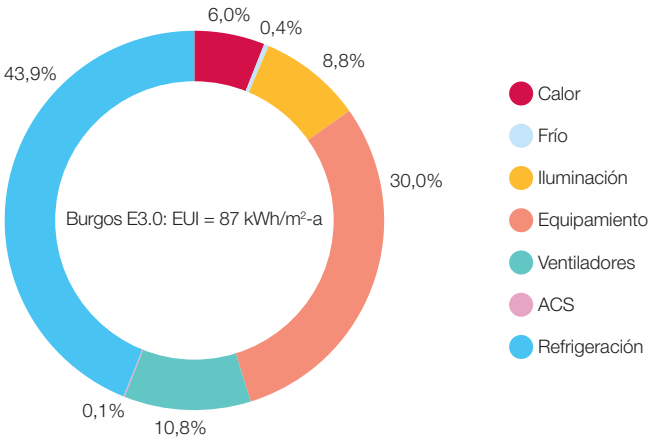
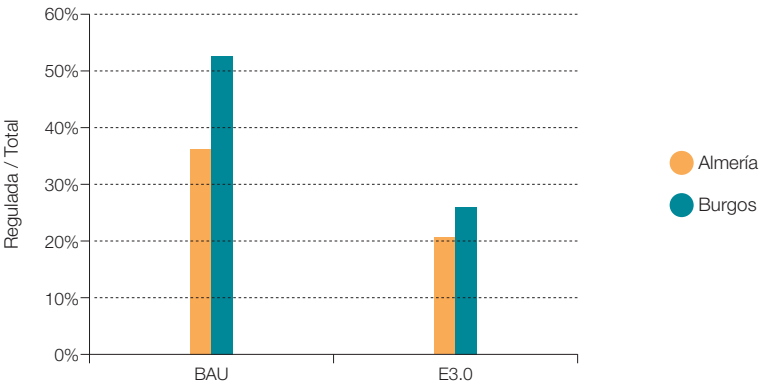


Figura 415. Fracción de consumo de energía regulado respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Supermercado.



del 40%, y baja al 20% para el contexto E3.0. Esta situación hace altamente recomendable que las cargas de proceso se incluyan en la regulación, y que el indicador a manejar sea el de consumo de energía total, si se pretende que la regulación contribuya a proporcionar avances significativos en el nivel de eficiencia de estos edificios.

En el caso de analizar el ratio entre energía para climatizar respecto a total, la figura 416

nos muestra cómo se llega a reducir esta componente de la demanda en el contexto E3.0. En efecto, el consumo de energía para climatizar pasa de ser una de las componentes más importantes de la demanda en el contexto BAU a ser la componente menos importante. A ello contribuyen por un lado la gran reducción de la demanda del edificio, y por otro lado a la gran eficiencia de las bombas de calor para cubrir esa demanda residual.

Figura 416. Fracción de consumo de energía para climatización respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Supermercado.

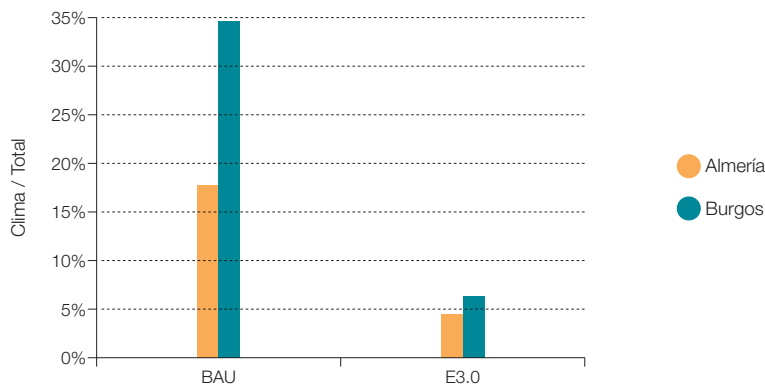


Figura 417. Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Supermercado.

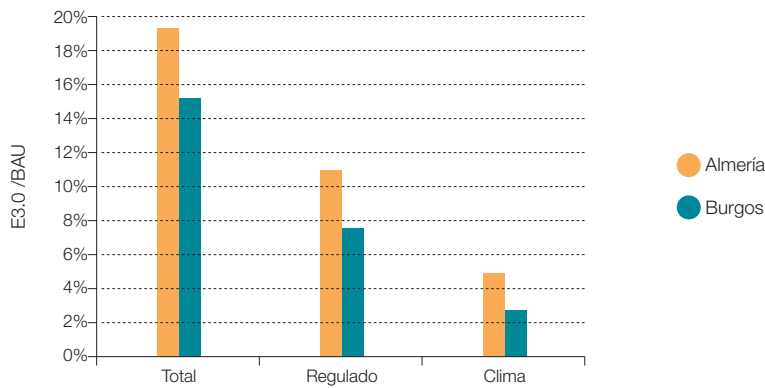
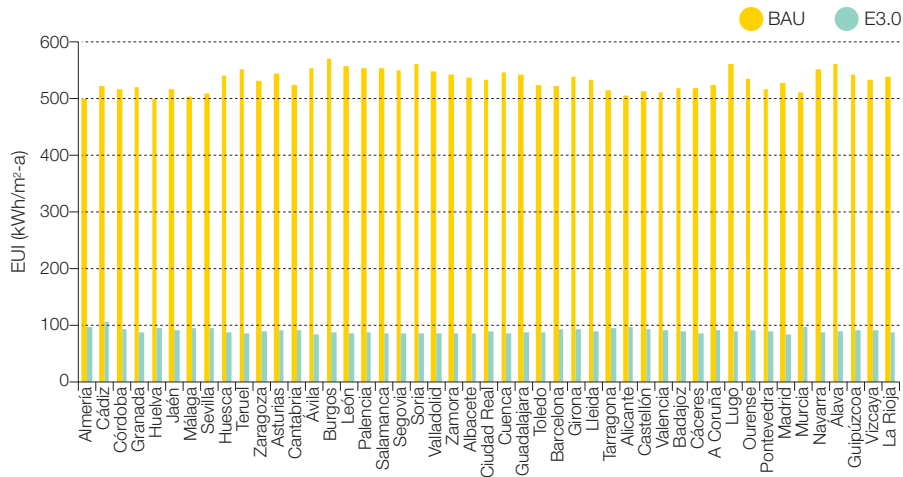


Figura 418. Distribución provincial del consumo de energía final total para los contextos BAU y E3.0. Supermercado.



Por lo que respecta al incremento de eficiencia al pasar del contexto BAU al E3.0, en la figura 417 podemos observar cómo 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 o de climatización, y llegan, para el caso de emplazamientos de elevada severidad climática de invierno⁷⁹⁵, a obtener niveles de ahorro en las demandas de energía regulada y de climatización del orden del 92% y 97% respectivamente.

Finalmente, por lo que respecta a la distribución provincial del consumo total de energía final, tanto para el contexto BAU como para el E3.0, la figura 418 recoge los resultados correspondientes. Como podemos observar, en todos los emplazamientos climáticos se alcanza un elevado nivel de ahorro, y se obtiene, para el contexto E3.0, una distribución muy homogénea del consumo total de energía de esta tipología de edificios.

3.7.7.1.7 Educación

En las figuras 419 y 420 mostramos la estructura de la demanda final de energía⁷⁹⁶ en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU, mientras que las figuras 421 y 422 nos muestran las correspondientes demandas de energía en estos dos emplazamientos climáticos para el contexto E3.0.

Podemos observar cómo esta tipología de edificio, ya incluso en el contexto BAU, se encuentra dominado por los consumos de iluminación y equipamiento. Al pasar al contexto E3.0 este dominio se hace todavía más contundente por la reducción de los consumos asociados a la climatización.

⁷⁹⁵ Que son aquellos que en la actualidad consumen más energía y para los cuales la regulación actual permite unos mayores niveles de consumo.
⁷⁹⁶ Descontando la aportación solar térmica local.

Figura 419. Estructura de la demanda de energía final para el centro educativo en Almería en contexto BAU.

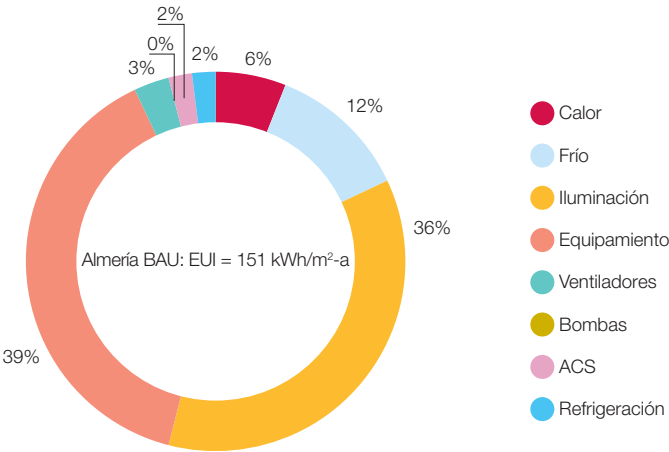


Figura 420. Estructura de la demanda de energía final para el centro educativo en Burgos en contexto BAU.

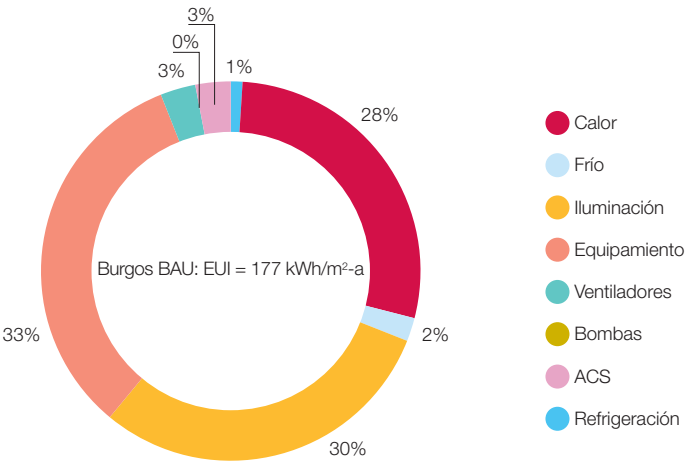


Figura 421. Estructura de la demanda de energía final para el centro educativo en Almería en contexto E3.0.

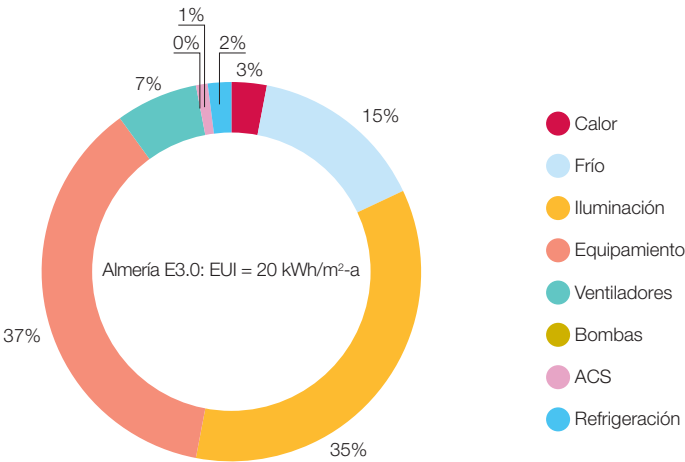
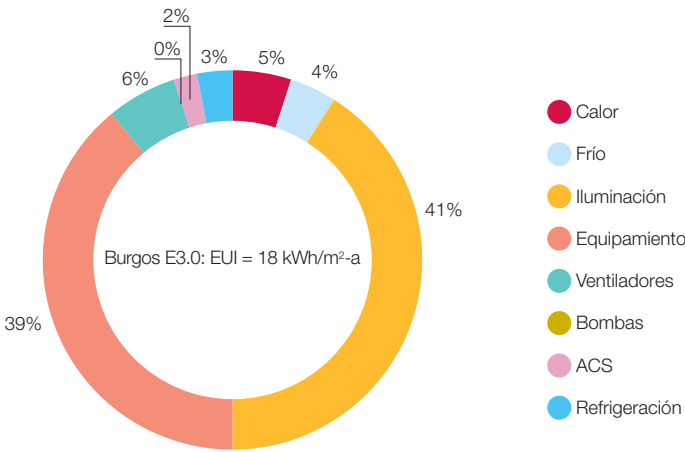


Figura 422. Estructura de la demanda de energía final para el centro educativo en Burgos en contexto E3.0.



En la figura 423 presentamos el ratio entre energía regulada y energía total y su evolución al pasar del contexto BAU al E3.0 en estos dos emplazamientos climáticos. En el caso de los edificios terciarios, la parte regulada incluye la energía para iluminación. La parte del consumo energético que queda fuera del al-

cance de la regulación es significativa, y se acentúa en el contexto E3.0 en el que alcanza valores del orden del 40%. Resulta por tanto apropiado incorporar todos los consumos dentro del alcance de la regulación y emplear como indicador de desempeño del edificio el consumo de energía total final.

Figura 423. Fracción de consumo de energía regulado respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Centro educativo.

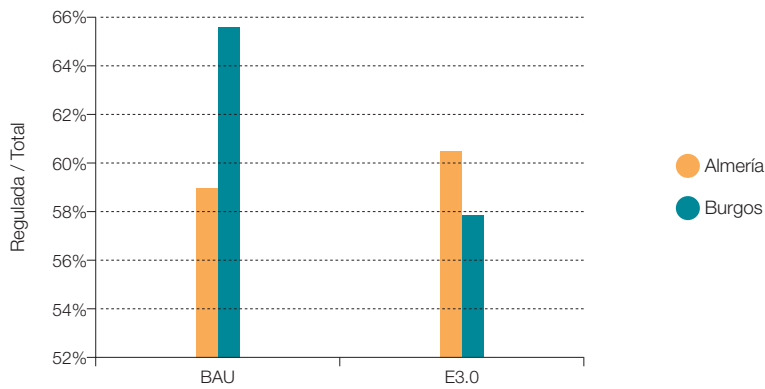
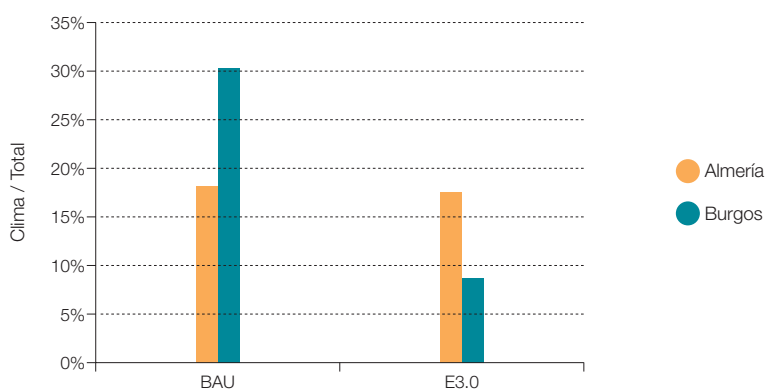


Figura 424. Fracción de consumo de energía para climatización respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Centro educativo.



En el caso de analizar el ratio entre energía para climatizar respecto a total, la figura 424 nos muestra cómo se llega a reducir esta componente de la demanda en el contexto E3.0. En efecto, el consumo de energía para climatizar pasa de ser una componente relevante de la demanda en el contexto BAU a ser una componente relativamente poco importante, si bien, en los emplazamientos de elevada severidad climática de verano mantiene

el orden de magnitud de su peso relativo debido a que las medidas de eficiencia introducidas, si bien reducen la demanda absoluta de refrigeración, no consiguen reducir su valor relativo.

Por lo que respecta al incremento de eficiencia al pasar del contexto BAU al E3.0, en la figura 425 podemos observar cómo 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 o de climatización en emplazamientos de elevada severidad climática de invierno⁷⁹⁷, y llegan, en este caso, a obtener niveles de ahorro en las demandas de energía de climatización del orden del 98%. En el caso de los emplazamientos con elevada severidad climática de verano, las medidas de eficiencia

introducidas no consiguen reducir el peso relativo de la demanda de climatización, dominada en este caso por los requerimientos de frío, motivo por el que el orden de magnitud de la reducción total, regulada y de clima, al pasar del BAU al E3.0 son parecidos.

Finalmente, por lo que respecta a la distribución provincial del consumo total de energía

Figura 425. Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Centro educativo.

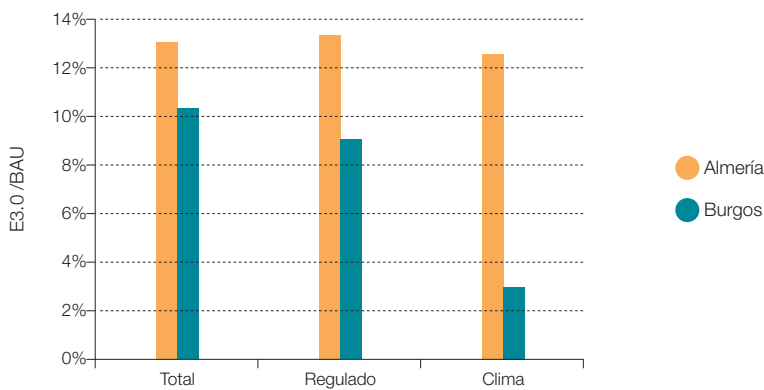
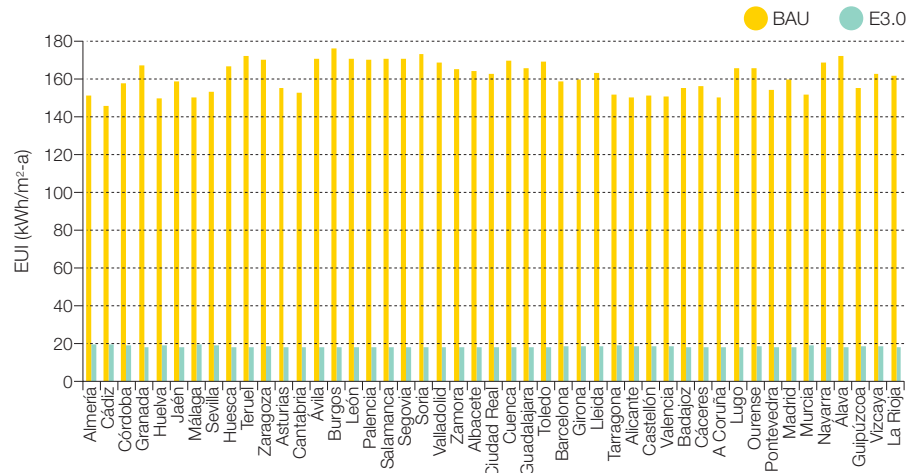


Figura 426. Distribución provincial del consumo de energía final total para los contextos BAU y E3.0. Centro educativo.



797 Que son aquellos que en la actualidad consumen más energía y para los cuales la regulación actual permite unos mayores niveles de consumo.

final, tanto para el contexto BAU como para el E3.0, la figura 426 recoge los resultados correspondientes. Como podemos observar, en todos los emplazamientos climáticos se alcanza un elevado nivel de ahorro, y se obtiene, para el contexto E3.0, una distribución muy homogénea del consumo total de energía de esta tipología de edificios.

3.7.7.1.7 Hospital

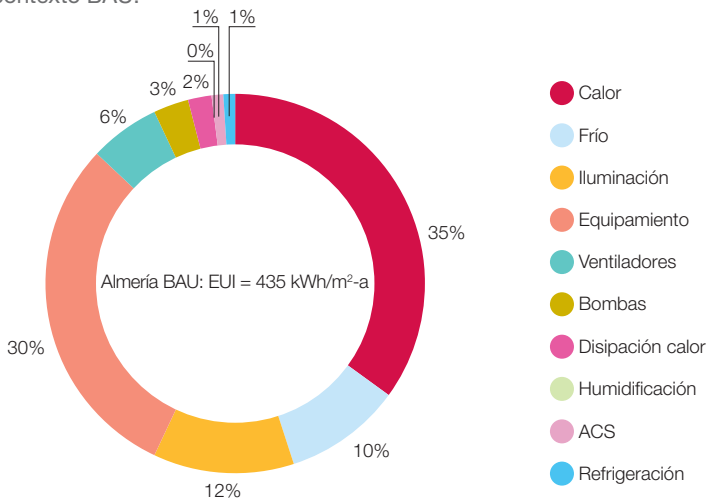
En las figuras 427 y 428 mostramos la estructura de la demanda final de energía⁷⁹⁸ en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU, mientras que las figuras 429 y 430 nos muestran las correspondientes demandas de energía en estos dos emplazamientos climáticos para el contexto E3.0.

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. Al evolucionar al contexto E3.0, el consumo para climatización se reduce mucho, de tal forma que pasa a ser uno de los componentes menos importantes de la estructura de demanda, con los equipamientos que dominan la estructura de consumo.

En el caso de un hospital existe una gran cantidad de equipamiento crítico sobre el que no es directa la aplicación de medidas de eficiencia con el mismo alcance que en otros tipos de equipamiento. Sin embargo, dado que hasta la fecha el criterio de eficiencia sobre este tipo de equipamientos no ha constituido uno de los parámetros principales de diseño⁷⁹⁹, cabe esperar que exista un amplio margen de mejora⁸⁰⁰. Sin embargo, de cara a la elaboración del escenario E3.0 hemos sido conservadores en este sentido, de tal forma que en las zonas administrativas del hospital hemos aplicado ratios de mejora de eficiencia de equipamientos comparables

Figura 427. Estructura de la demanda de energía final para el hospital en Almería en contexto BAU.



⁷⁹⁸ Descontando la aportación solar térmica local.
⁷⁹⁹ Probablemente incluso menos que en otros tipos de equipamiento.
⁸⁰⁰ La extensión del concepto de salud más allá de los pacientes internos para abarcar al resto del planeta sería un motor para introducir eficiencia energética en los hospitales.

a los de otros edificios (pero algo inferiores), mientras que en las áreas críticas del hospital los ratios de mejora de la eficiencia del equipamiento que hemos introducido son mucho más conservadores⁸⁰¹.

También resaltan en los resultados aquí presentados los incrementos de peso relativo en la estructura de consumo del bombeo y la disipación de calor. Estos dos componentes presentan un margen de mejora significativo

Figura 428. Estructura de la demanda de energía final para el hospital en Burgos en contexto BAU.

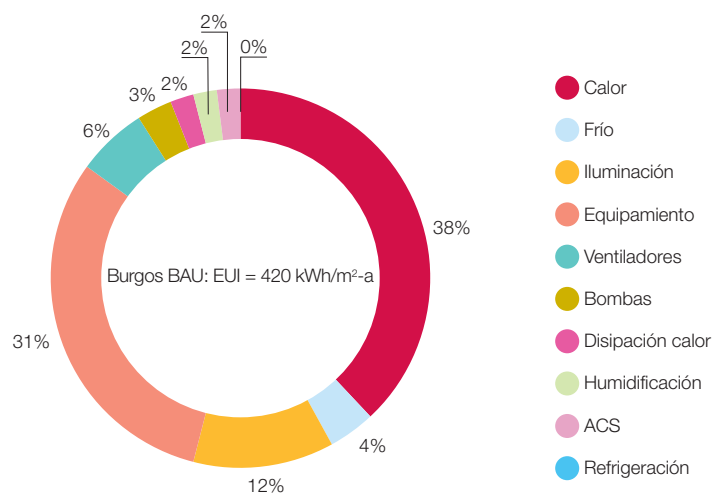
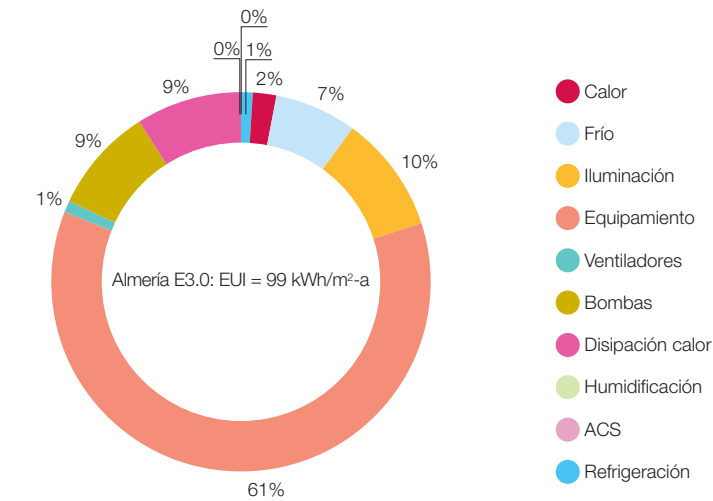


Figura 429. Estructura de la demanda de energía final para el hospital en Almería en contexto E3.0.



801 Consideramos que sería preciso desarrollar un estudio específico sobre este tipo de equipamientos para afinar más en su potencial de mejora.

no reflejado en estos resultados, pues por limitaciones de tiempo no se han introducido medidas de eficiencia adicionales en el contexto E3.0 respecto a las ya implementadas para el contexto BAU.

Estos dos aspectos conservadores del análisis, hacen que en los hospitales consideremos que existe un margen de mejora

adicional al correspondiente a los resultados aquí presentados.

En la figura 431 presentamos el ratio entre energía regulada y energía total y su evolución al pasar del contexto BAU al E3.0 en estos dos emplazamientos climáticos. En el caso de los edificios terciarios, la parte regulada incluye la energía para iluminación.

Figura 430. Estructura de la demanda de energía final para el hospital en Burgos en contexto E3.0.

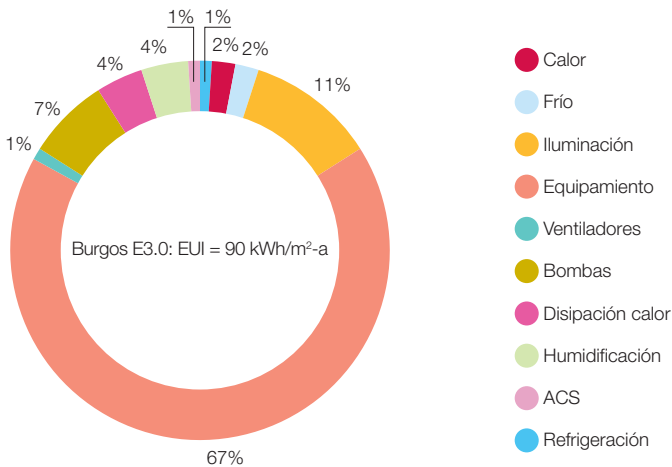
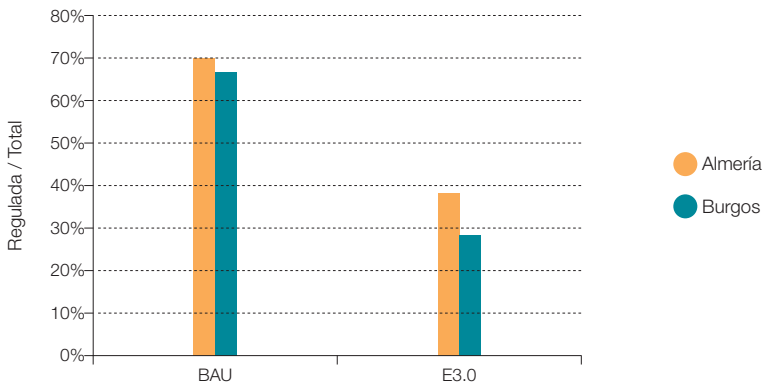


Figura 431. Fracción de consumo de energía regulado respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Hospital.



La parte del consumo energético que queda fuera del alcance de la regulación es muy importante, y se acentúa en el contexto E3.0 en que alcanza valores del orden del 70%. Resulta por tanto apropiado incorporar todos los consumos dentro del alcance de la regulación empleando como indicador de desempeño del edificio el consumo de energía total final.

En el caso de analizar el ratio entre energía para climatizar respecto al total, la figura 432 nos muestra cómo se llega a reducir esta componente de la demanda en el contexto E3.0. En efecto, el consumo de energía para climatizar pasa de ser la componente principal de la demanda en el contexto BAU a ser una de las componentes menos importantes en el contexto E3.0. La reducción de la demanda

Figura 432. Fracción de consumo de energía para climatización respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Hospital.

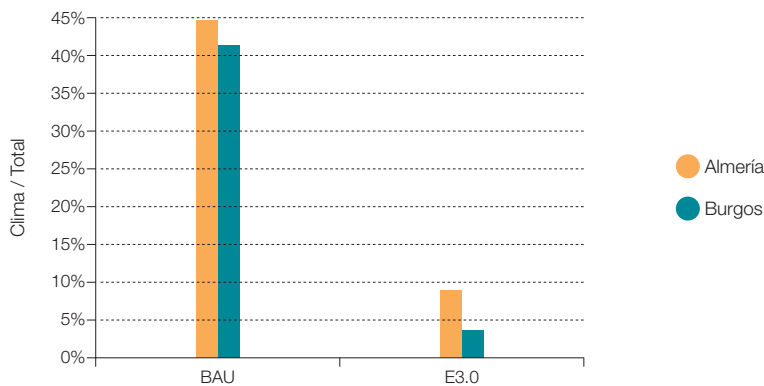
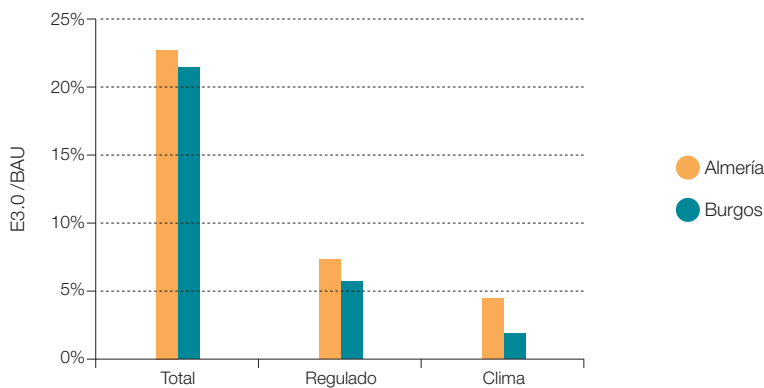


Figura 433. Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Hospital.



por aplicación de niveles de aislamiento adecuados, y la gran eficiencia de las bombas de calor para cubrir la demanda residual son los responsables de este resultado.

Por lo que respecta al incremento de eficiencia al pasar del contexto BAU al E3.0, en la figura 433 podemos observar cómo en términos de energía total los ahorros alcanzados llegan a ser del orden del 80%, que se incrementan al considerar los ahorros en términos de energía regulada o de climatización, especialmente en emplazamientos de elevada severidad climática de invierno⁸⁰², y llegan, en este caso, a obtener niveles de ahorro en las demandas de energía de climatización del orden del 98%.

Finalmente, por lo que respecta a la distribución provincial del consumo total de energía final, tanto para el contexto BAU como para el E3.0, la figura 434 recoge los resultados correspondientes. Como podemos observar, en

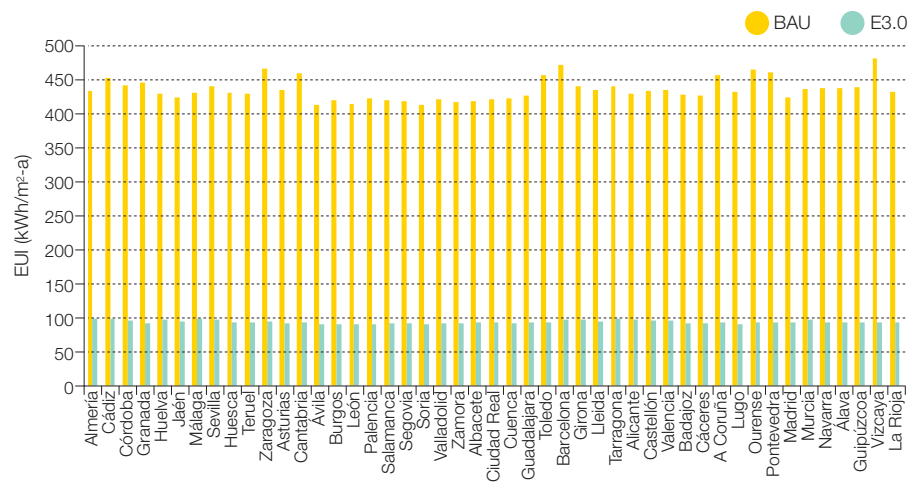
todos los emplazamientos climáticos se alcanza un elevado nivel de ahorro, y se obtiene para el contexto E3.0 una distribución muy homogénea del consumo total de energía de esta tipología de edificios.

3.7.7.1.8 Restaurante

En las figuras 435 y 436 mostramos la estructura de la demanda final de energía⁸⁰³ en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU, mientras que las figuras 437 y 438 nos muestran las correspondientes demandas de energía en estos dos emplazamientos climáticos para el contexto E3.0.

Lo que más resalta de estos resultados es el dominio de los equipamientos en la estructura de consumo energético de esta tipología de edificio, incluso en el contexto BAU, pero que en el contexto E3.0, tras la aplicación de

Figura 434. Distribución provincial del consumo de energía final total para los contextos BAU y E3.0. Hospital.



⁸⁰² Que son aquellos que en la actualidad consumen más energía y para los cuales la regulación actual permite unos mayores niveles de consumo.
⁸⁰³ Descontando la aportación solar térmica local.

medidas de eficiencia que reducen de forma muy importante la demanda de climatización y la de iluminación, el dominio de los equipamientos se acentúa todavía mucho más.

Figura 435. Estructura de la demanda de energía final para el restaurante en Almería en contexto BAU.

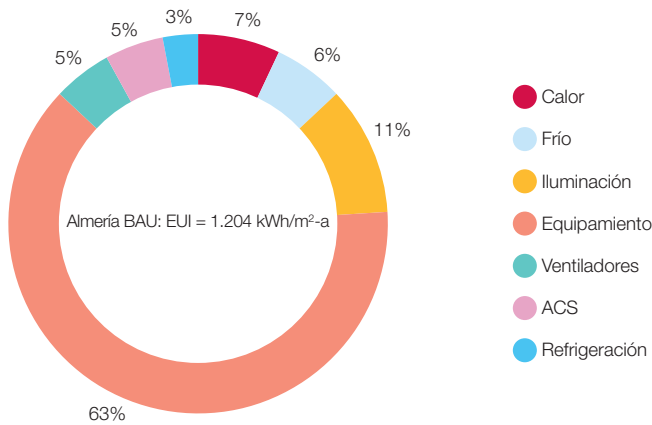


Figura 436. Estructura de la demanda de energía final para el restaurante en Burgos en contexto BAU.

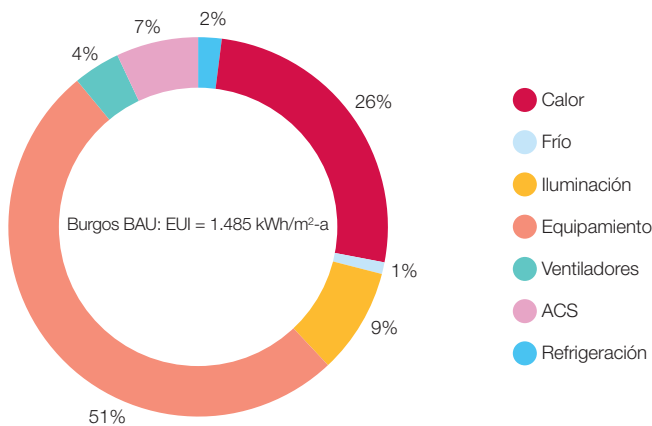


Figura 437. Estructura de la demanda de energía final para el restaurante en Almería en contexto E3.0.

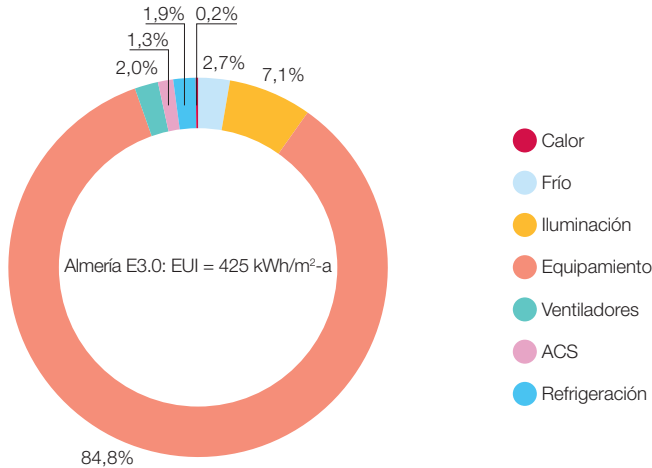


Figura 438. Estructura de la demanda de energía final para el restaurante en Burgos en contexto E3.0.

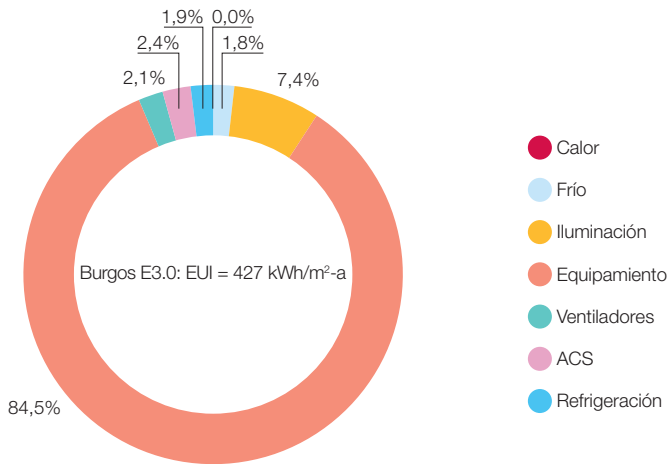


Figura 439. Fracción de consumo de energía regulado respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Restaurante.

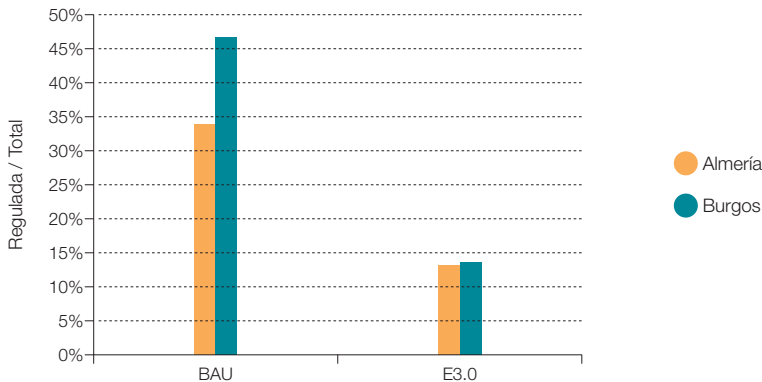
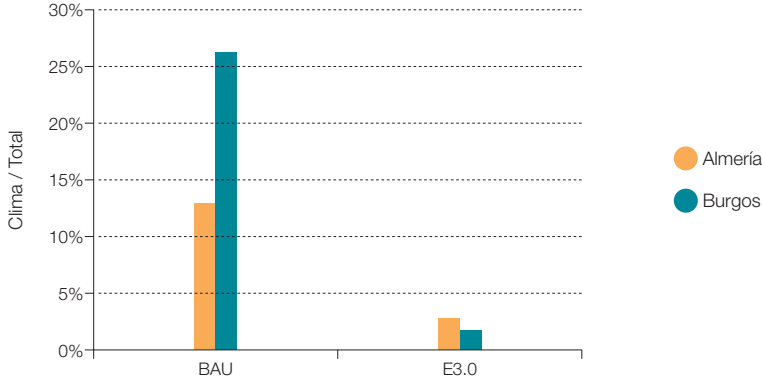


Figura 440. Fracción de consumo de energía para climatización respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Restaurante.



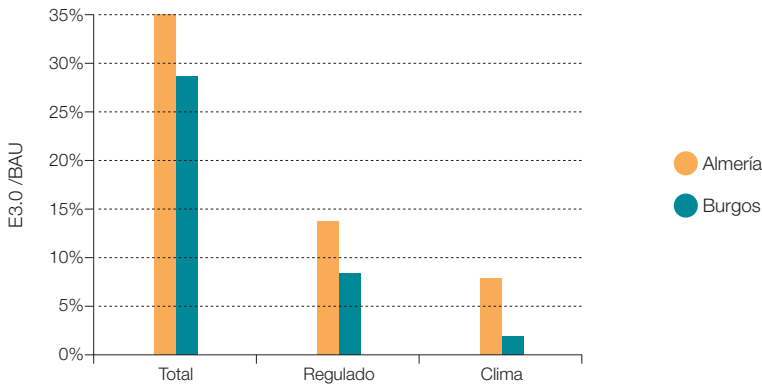
En la figura 439 presentamos el ratio entre energía regulada y energía total y su evolución al pasar del contexto BAU al E3.0 en estos dos emplazamientos climáticos. En el caso de los edificios terciarios, la parte regulada incluye la energía para iluminación. La parte del consumo energético que queda fuera del alcance de la regulación es muy importante, y se acentúa en el contexto E3.0 en el que alcanza valores del orden del 85%. Resulta por tanto apropiado incorporar todos los consumos dentro del alcance de la regulación empleando

como indicador de desempeño del edificio el consumo de energía total final.

En el caso de analizar el ratio entre energía para climatizar respecto a total, la figura 440 nos muestra cómo se llega a reducir esta componente de la demanda en el contexto E3.0. En efecto, el consumo de energía para climatizar pasa de ser una componente importante de la demanda en el contexto BAU⁸⁰⁴, a prácticamente desaparecer en el contexto E3.0. La reducción de la demanda

804 Especialmente en climas de elevada severidad climática de invierno.

Figura 441. Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Restaurante.

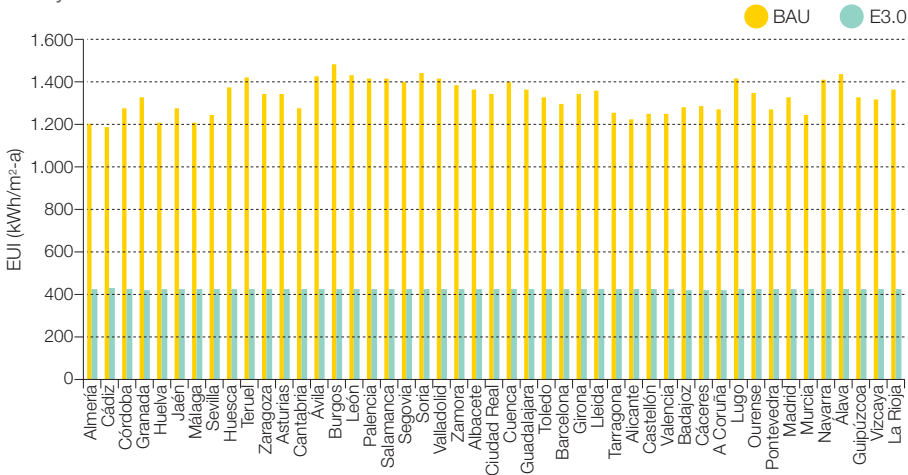


por aplicación de niveles de aislamiento adecuados, la implementación de procesos recuperativos, y la gran eficiencia de las bombas de calor para cubrir la demanda residual son los responsables de este resultado.

Por lo que respecta al incremento de eficiencia al pasar del contexto BAU al E3.0, en la

figura 441 podemos observar cómo en términos de energía total los ahorros alcanzados llegan a ser del orden del 70%⁸⁰⁵, que se incrementan al considerar los ahorros en términos de energía regulada o de climatización, especialmente en emplazamientos de elevada severidad climática de invierno⁸⁰⁶, y llegan en este caso a obtener niveles de ahorro

Figura 442. Distribución provincial del consumo de energía final total para los contextos BAU y E3.0. Restaurante.



⁸⁰⁵ Este valor es inferior al alcanzado en otros emplazamientos por el gran dominio de la demanda de equipamientos de proceso con un menor margen de mejora.

⁸⁰⁶ Que son aquellos que en la actualidad consumen más energía y para los cuales la regulación actual permite unos mayores niveles de consumo.

en las demandas de energía de climatización del orden del 98%.

Finalmente, por lo que respecta a la distribución provincial del consumo total de energía final, tanto para el contexto BAU como para el E3.0, la figura 442 recoge los resultados correspondientes. Como podemos observar, en todos los emplazamientos climáticos se alcanza un elevado nivel de ahorro, obteniendo

para el contexto E3.0 una distribución muy homogénea del consumo total de energía de esta tipología de edificios.

3.7.7.1.9 Almacén

En las figuras 443 y 444 mostramos la estructura de la demanda final de energía⁸⁰⁷ en los emplazamientos climáticos extremos de

Figura 443. Estructura de la demanda de energía final para el almacén en Almería en contexto BAU.

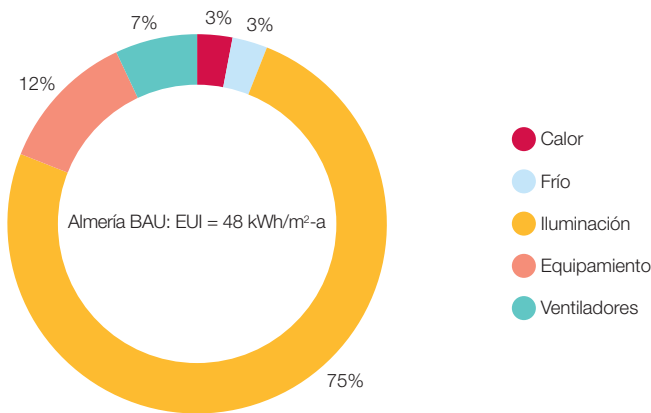
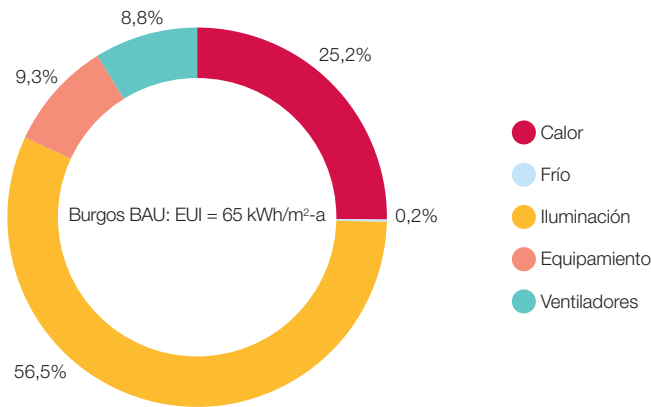


Figura 444. Estructura de la demanda de energía final para el almacén en Burgos en contexto BAU.



807 Descontando la aportación solar térmica local.

Figura 445. Estructura de la demanda de energía final para el almacén en Almería en contexto E3.0.

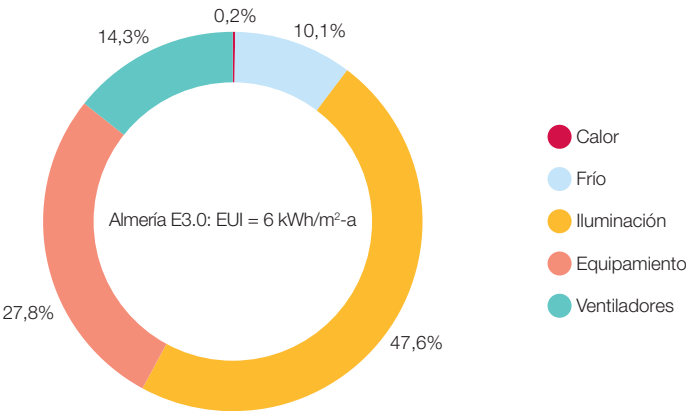
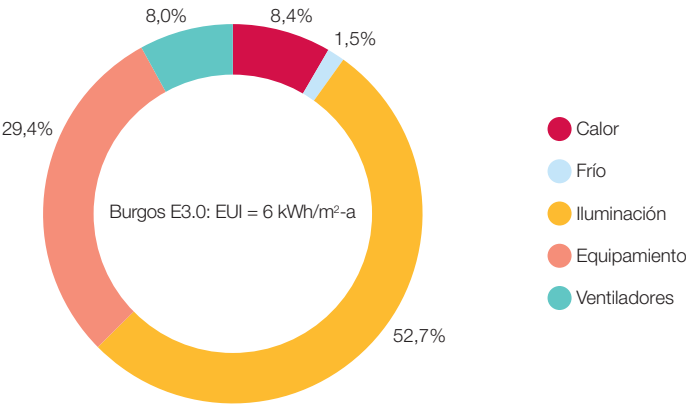


Figura 446. Estructura de la demanda de energía final para el almacén en Burgos en contexto E3.0.



Almería y Burgos para el contexto BAU, mientras que las figuras 445 y 446 nos muestran las correspondientes demandas de energía en estos dos emplazamientos climáticos para el contexto E3.0.

Como podemos ver, esta tipología de edificio está dominada por el consumo de iluminación, si bien en el contexto BAU la demanda de calefacción en emplazamientos de elevada severidad climática proporciona una contribución significativa.

Figura 447. Fracción de consumo de energía regulado respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Almacén.

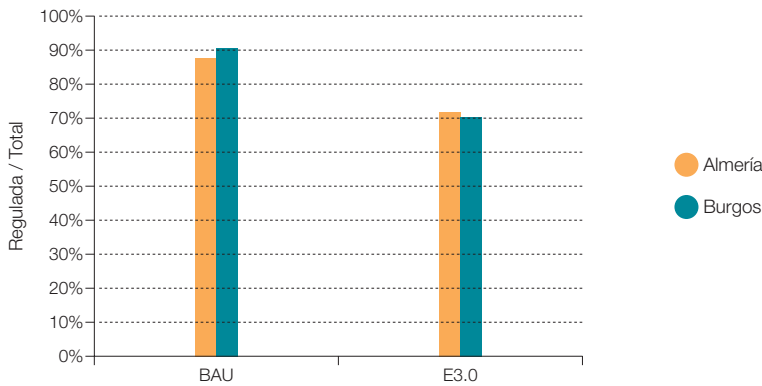
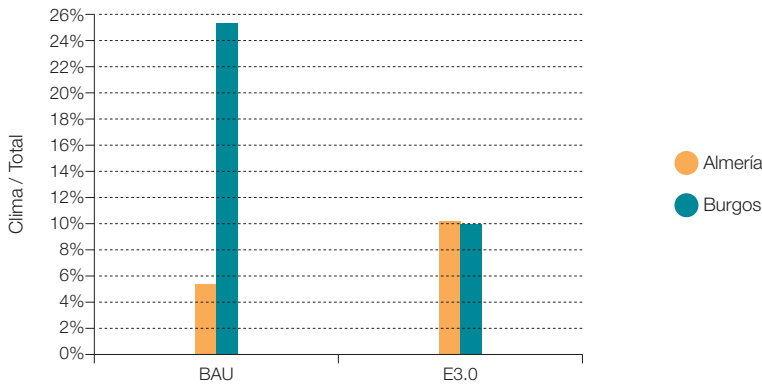


Figura 448. Fracción de consumo de energía para climatización respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Almacén.



En la figura 447 presentamos el ratio entre energía regulada y energía total y su evolución al pasar del contexto BAU al E3.0 en estos dos emplazamientos climáticos. En el caso de los edificios terciarios, la parte regulada incluye la energía para iluminación. Dada la estructura de consumos de esta tipología de edificios, en el contexto BAU la energía regulada representa del orden del 90% de la energía final total. Sin embargo, en el contexto E3.0 este porcentaje desciende hasta el 70%,

dejando fuera del alcance de la energía regulada una parte importante del consumo final.

En el caso de analizar el ratio entre energía para climatizar respecto a total, la figura 448 nos muestra cómo evoluciona esta componente de la demanda en el contexto E3.0.

Por lo que respecta al incremento de eficiencia al pasar del contexto BAU al E3.0, en la figura 449 podemos observar cómo en términos de

Figura 449. Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Almacén.

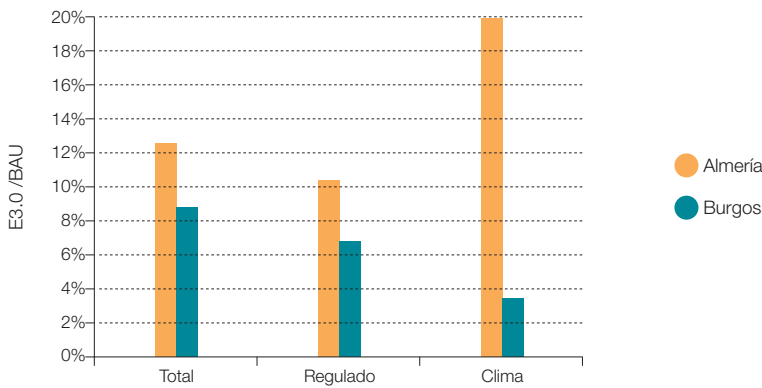
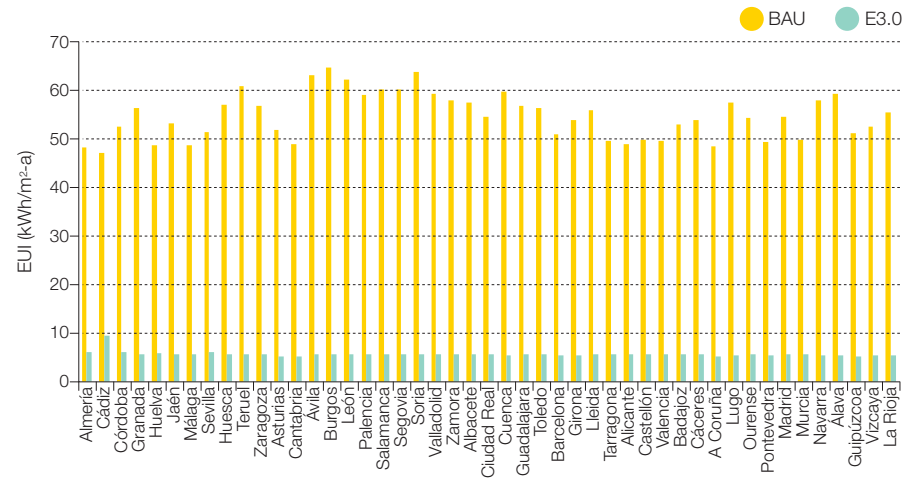


Figura 450. Distribución provincial del consumo de energía final total para los contextos BAU y E3.0. Almacén.



energía total los ahorros alcanzados llegan a ser del orden del 90%.

Finalmente, por lo que respecta a la distribución provincial del consumo total de energía final, tanto para el contexto BAU como para el E3.0, la figura 450 recoge los resultados correspondientes. Como podemos observar, en

todos los emplazamientos climáticos se alcanza un elevado nivel de ahorro, que obtienen para el contexto E3.0 una distribución muy homogénea del consumo total de energía de esta tipología de edificios.

3.7.7.1.10 Hotel

En las figuras 451 y 452 mostramos la estructura de la demanda final de energía⁸⁰⁸ en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU, mientras que las figuras 453 y 454 nos muestran las correspondientes demandas de energía en estos dos emplazamientos climáticos para el contexto E3.0.

Como podemos ver esta tipología de edificio está dominada por el consumo de equipamientos, especialmente en el contexto E3.0 al reducirse de forma muy importante otros componentes de peso en el BAU (climatización, iluminación y ACS).

Figura 451. Estructura de la demanda de energía final para el hotel en Almería en contexto BAU.

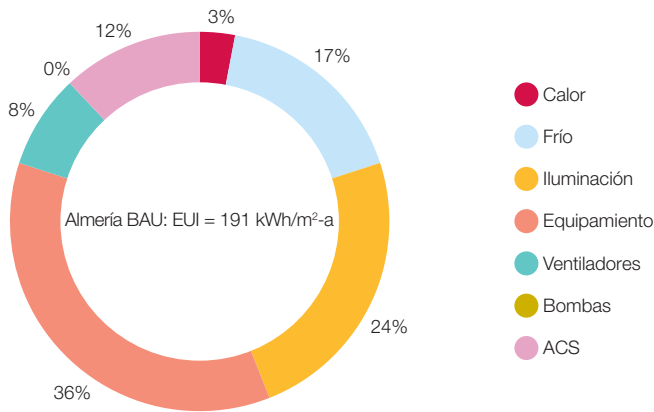
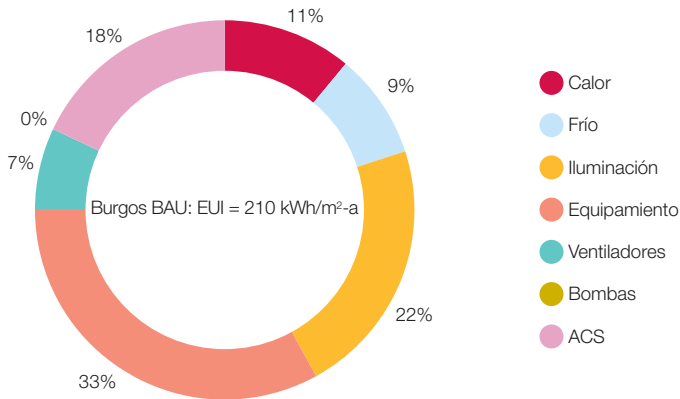


Figura 452. Estructura de la demanda de energía final para el hotel en Burgos en contexto BAU.



⁸⁰⁸ Descontando la aportación solar térmica local.

Figura 453. Estructura de la demanda de energía final para el hotel en Almería en contexto E3.0.

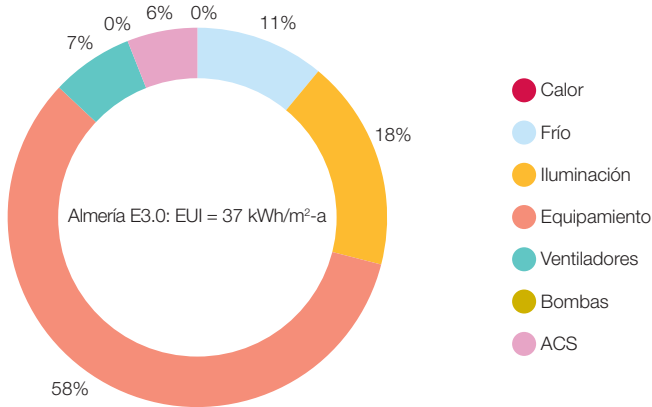


Figura 454. Estructura de la demanda de energía final para el hotel en Burgos en contexto E3.0.

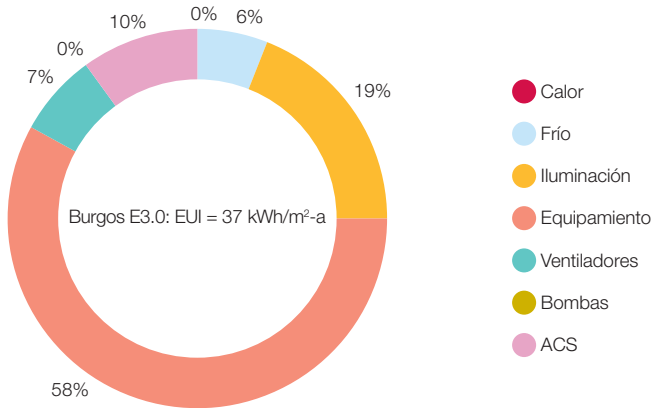


Figura 455. Fracción de consumo de energía regulado respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Hotel.

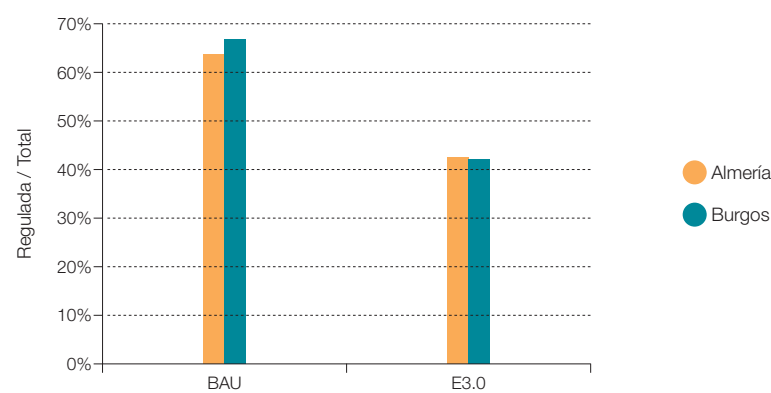
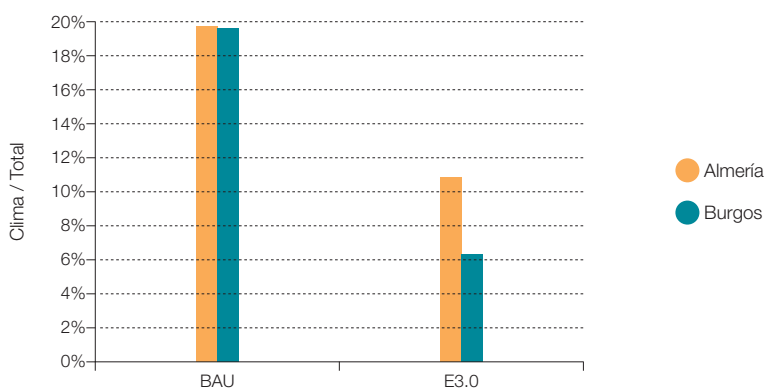


Figura 456. Fracción de consumo de energía para climatización respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Hotel.



En la figura 455 presentamos el ratio entre energía regulada y energía total y su evolución al pasar del contexto BAU al E3.0 en estos dos emplazamientos climáticos. En el caso de los edificios terciarios, la parte regulada incluye la energía para iluminación. Las componentes reguladas constituyen tan solo el 60% y el 40% en los contextos BAU y E3.0 respectivamente. Por tanto es importante centrar tanto los análisis como la

regulación destinados a explotar el potencial de la eficiencia, en el consumo total.

En el caso de analizar el ratio entre energía para climatizar respecto a total, la figura 456 nos muestra cómo evoluciona esta componente de la demanda en el contexto E3.0.

Figura 457. Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Hotel.

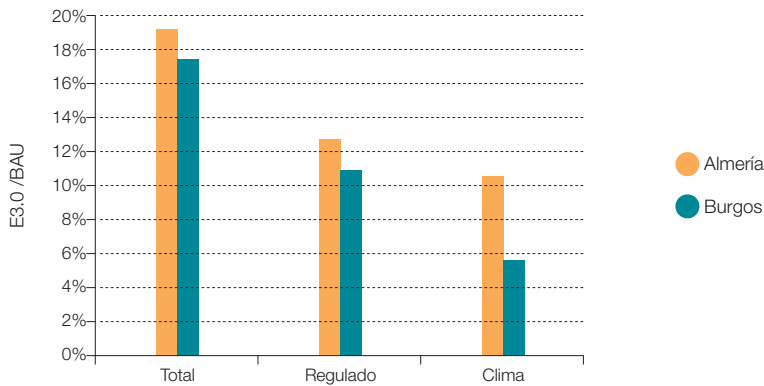
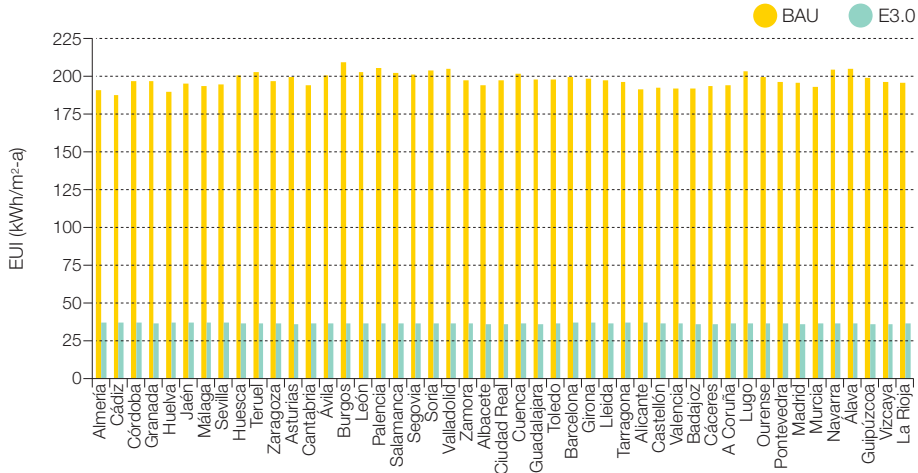


Figura 458. Distribución provincial del consumo de energía final total para los contextos BAU y E3.0. Hotel.



Por lo que respecta al incremento de eficiencia al pasar del contexto BAU al E3.0, en la figura 457 podemos observar cómo en términos de energía total los ahorros alcanzados llegan a ser del orden del 82%, y llegan a ser del orden del 94% en términos de consumo para climatización en emplazamientos de elevada severidad climática.

Finalmente, por lo que respecta a la distribución provincial del consumo total de energía final, tanto para el contexto BAU como para el E3.0, la figura 458 recoge los resultados correspondientes. Como podemos observar, en todos los emplazamientos climáticos se alcanza un elevado nivel de ahorro, y se obtienen para el contexto E3.0 una distribución

muy homogénea del consumo total de energía de esta tipología de edificios.

3.7.7.2 Escenarios totales sector edificación

3.7.7.2.1 Escenarios totales BAU

En primer lugar vamos a recopilar los valores correspondientes a los escenarios de demanda

total⁸⁰⁹ del sector edificación para el contexto BAU, y compararlos con los valores correspondientes a otros escenarios desarrollados con anterioridad, para ilustrar el hecho de que los BAU aquí presentados son ya más eficientes⁸¹⁰ que los BAU de escenarios anteriores.

Para el caso de la edificación residencial, formada por sus dos modos⁸¹¹, en la figura 459 recogemos los valores totales de consumo

Figura 459. Consumo total del sector residencial en el escenario BAU para el año 2050.

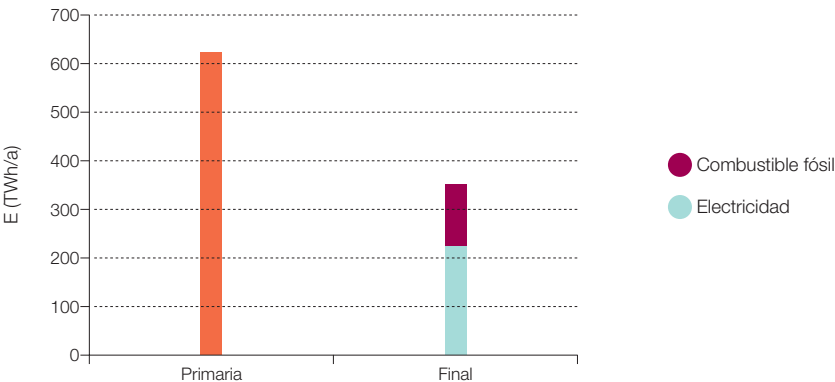
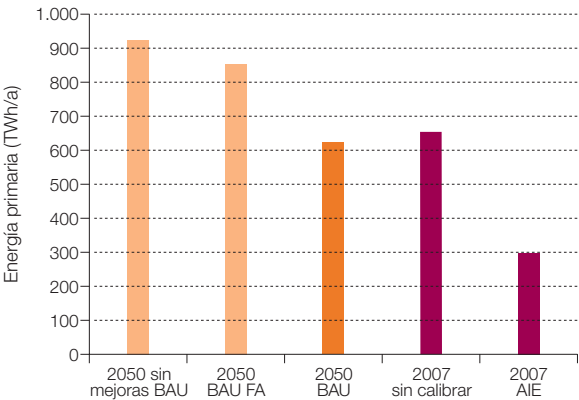


Figura 460. Comparación del escenario BAU 2050 para el sector edificación residencial con otros escenarios BAU y con las condiciones actuales del parque de edificios.



⁸⁰⁹ Con fines de comparar los resultados, a menos que se indique lo contrario, los valores presentados en este punto no tienen en cuenta las aportaciones autónomas de energía solar térmica. Es decir, la demanda de ACS incluida es la total sin descontar el aporte de la solar térmica autónoma al ACS.

⁸¹⁰ Esta mejora en los escenarios BAU es una tendencia que también se puede apreciar en los escenarios de la AIE, y es un reflejo de que el concepto del caso BAU va evolucionando en el tiempo hacia niveles de eficiencia mayor, en parte impulsado por los escenarios eficientes que se desarrollan en paralelo con los escenarios BAU.

⁸¹¹ Vivienda en bloque y unifamiliar.

energético, en términos de energía primaria⁸¹² y de energía final.

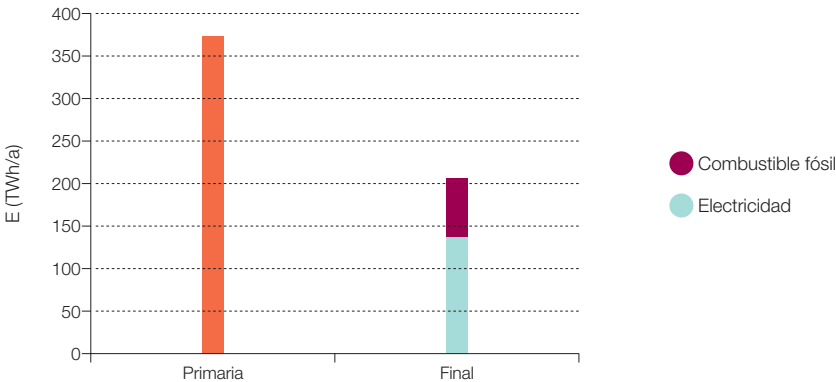
Conviene analizar con cierta perspectiva este escenario BAU para el sector edificación. En la figura 460 presentamos, en términos de energía primaria, el escenario BAU 2050 aquí desarrollado, con otros dos escenarios BAU y con evaluaciones de la situación actual del parque de edificios residenciales. El escenario denominado “2050 sin mejoras BAU” se corresponde al resultado de aplicar al área de edificios en el año 2050 el consumo específico del parque de edificios residencial en el año 2007 que dedujimos el capítulo de análisis de la calificación energética. El otro escenario BAU, el denominado “2050_BAU_FA” es el desarrollado en las referencias (García Casals X., 2007-1 y 2007-2). Respecto a los resultados representativos de la situación actual, el denominado “2007 sin calibrar” es el correspondiente a la estimación del parque de edificios residencial actual que realizamos en el capítulo dedicado al análisis de la calificación energética, mientras que el valor indicado como “2007 AIE” se corresponde al dato que se deriva del balance de la AIE para el año 2007 y con el que calibramos el resultado anterior⁸¹³. Por tanto, podemos observar que el

escenario BAU 2050, aquí desarrollado, representa un consumo inferior al que tendría el parque actual si estuvieran en uso todos los edificios e internalizadas las condiciones de confort y uso de los mismos, y supone un ahorro del 32,5% sobre el nivel de consumo que correspondería a extrapolar el consumo específico actual sobre el área de edificios proyectada para el año 2050, que a su vez era del orden del BAU 2050 manejado en estudios anteriores. Desde esta perspectiva, debemos considerar el BAU aquí desarrollado como un BAU relativamente optimista.

Por lo que respecta al parque de edificios terciarios, incorporando todos sus modos, en la figura 461 recogemos el consumo agregado total para el escenario BAU 2050.

En la misma línea que el análisis desarrollado para el escenario BAU residencial, la figura 462 nos muestra la comparación del escenario BAU 2050 aquí desarrollado con otros dos escenarios BAU y con la evaluación de la situación actual del parque de edificios terciarios. Como podemos observar, el ahorro del BAU aquí considerado respecto a la situación correspondiente a extrapolar el consumo

Figura 461. Consumo total del sector terciario en el escenario BAU para el año 2050.



812 Con fines comparativos con resultados anteriores, la conversión de la energía final a la primaria está realizada para las condiciones del sistema energético actual. Si hubiera una evolución del sistema energético en el contexto BAU, la conversión de energía final a primaria se modificaría, pero el resultado en términos de energía final permanecería invariante.

813 El proceso de calibrado consistió en ajustar tres factores: ratio de edificios construidos que están ocupados, factor de adaptación socioeconómica de las condiciones de confort y uso, y factor de degradación del parque actual respecto a la frontera D-E de la escala de calificación energética de edificios nuevos.

específico del parque actual supuesta internalizada toda la demanda del parque es del 18,6%, que si bien es un ahorro menor del BAU que en el caso residencial, debido al mayor peso que en los edificios terciarios tiene la energía de proceso (equipamientos), sigue representando una mejora considerable del BAU respecto a otros escenarios anteriores.

En las figuras 463 y 464 presentamos los resultados agrupados para el conjunto del sector edificación en el contexto BAU (residencial y terciario). Como vemos, el BAU aquí propuesto representa en su conjunto una mejora del 27,9% respecto a otros escenarios BAU.

Figura 462. Comparación del escenario BAU 2050 para el sector edificación terciaria con otros escenarios BAU y con las condiciones actuales del parque de edificios.

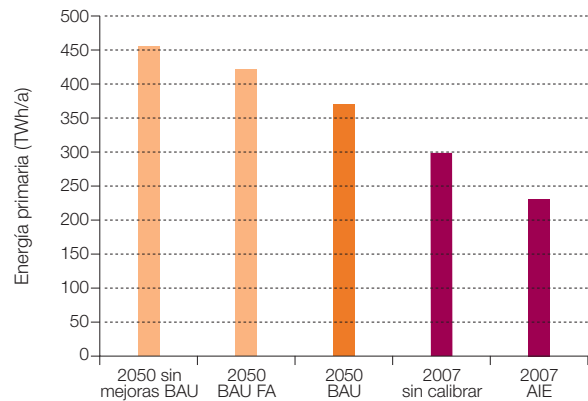
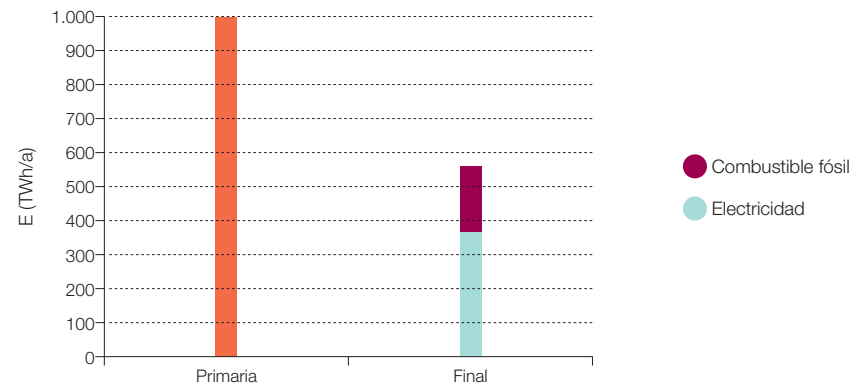


Figura 463. Consumo total del sector edificación total (residencial y terciario) en el escenario BAU para el año 2050.



En la figura 465 presentamos una comparación de los pesos relativos del sector terciario respecto al residencial en términos de superficie y de energía, para el año 2007 y para 2050 en contexto BAU. Debido a la mayor intensidad energética de los edificios terciarios respecto a los residenciales, consecuencia de los horarios más prolongados de uso y de

la mayor cantidad de equipamiento de proceso, el peso relativo en términos de energía es superior al peso relativo en términos de superficie, si bien se reduce en el año 2050 con el contexto BAU.

En términos de consumo específico del conjunto del parque de edificios, la figura 466 nos

Figura 464. Comparación del escenario BAU 2050 para el sector edificación total (residencial y terciaria) con otros escenarios BAU y con las condiciones actuales del parque de edificios.

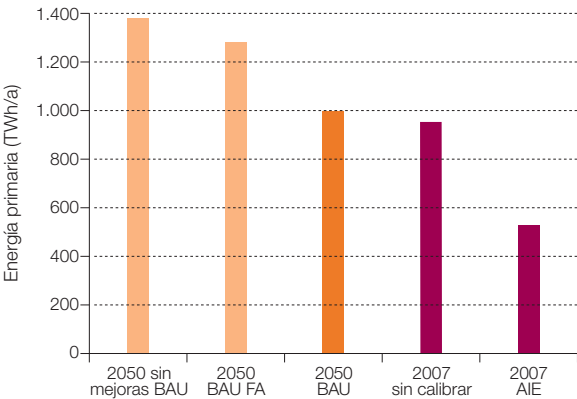
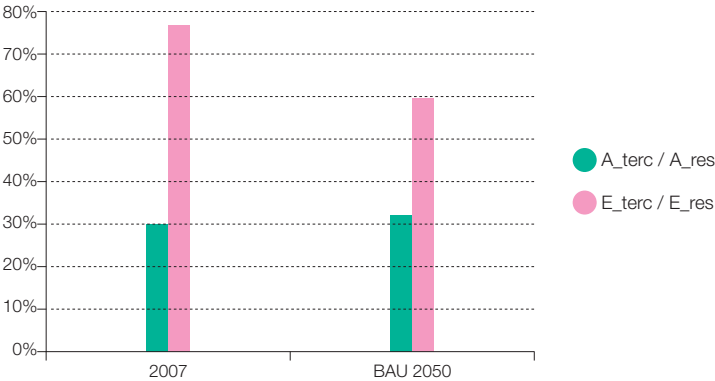


Figura 465. Comparación del peso relativo del sector terciario respecto al residencial en términos de área y de energía, para la situación actual y para el BAU 2050.



muestra la estructura del consumo referido al área construida para el escenario BAU 2050, mientras que la figura 467 presenta un posible escenario de evolución del BAU hasta el año 2050. La tendencia de este escenario es a incrementar al principio la demanda de energía a medida que se va incorporando al uso todo

el exceso de superficie construida e internalizando la demanda de confort y uso, lo cual tiene más peso que la incorporación de medidas de eficiencia. A partir de cierto instante, la incorporación de medidas de eficiencia en el BAU pasaría a dominar sobre la internalización de superficie y consumo, y conduciría a

Figura 466. Estructura del consumo específico del conjunto del parque de edificios en el BAU 2050.

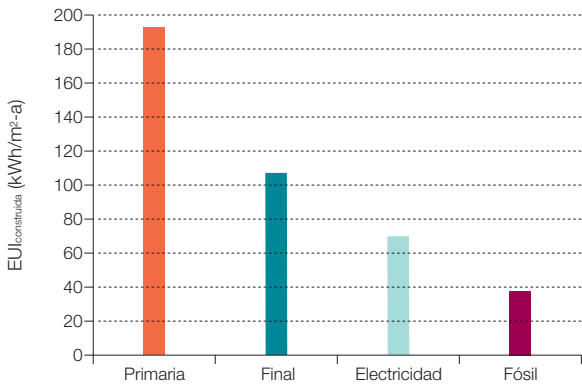


Figura 467. Escenario de evolución del consumo específico de energía primaria del parque de edificios BAU hasta el año 2050.

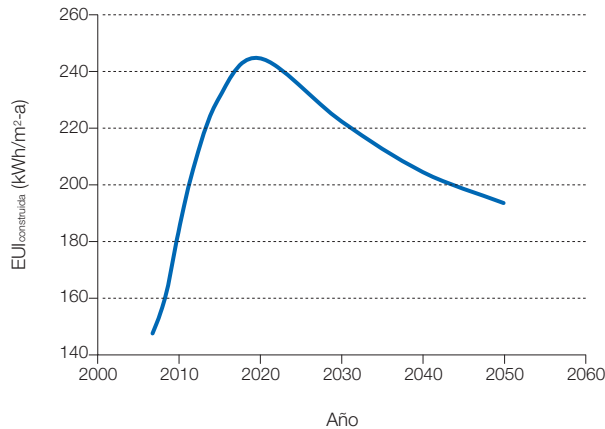
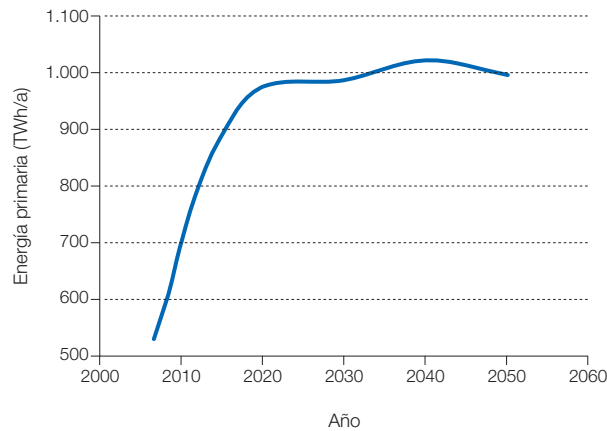


Figura 468. Escenario de evolución del consumo absoluto de energía primaria del parque de edificios BAU hasta el año 2050.



una atenuación del consumo específico del sector edificación. Al tener en cuenta la evolución de la superficie construida, el escenario de evolución BAU de la demanda en el sector edificación pasaría a ser como el indicado en la figura 468.

3.7.7.2.2 Escenarios totales E3.0

En este punto recogemos los escenarios E3.0, y los comparamos con los BAU, en su forma final, descontando las aportaciones de la solar térmica autónoma para cobertura parcial de la demanda de ACS⁸¹⁴. Los resultados los presentamos en términos de energía final⁸¹⁵ consumida por los edificios, descomponiendo ésta entre electricidad y combustible.

En la figura 469 mostramos los resultados finales acumulados para el subsector de la edificación residencial, comparando los contextos BAU y E3.0, y añadimos una comparación con la situación en el año 2007, mientras que la figura 470 nos presenta el correspondiente reparto modal, y la figura

471 la distribución provincial del consumo de energía final. Como podemos ver el ahorro alcanzado gracias a la introducción de medidas de eficiencia es tal, que el consumo de energía final en el contexto E3.0 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, por lo que la integración del subsector residencial en el sistema energético, mediante 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 gracias a las medidas de eficiencia incorporadas. De hecho, tal y como podemos observar al comparar la demanda E3.0 con la estructura de la demanda del subsector edificación residencial en el año 2007, la demanda de electricidad E3.0 es incluso inferior a la demanda de electricidad del año 2007, y por tanto deja hueco en el sistema eléctrico 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

⁸¹⁴ En el apartado anterior presentamos los resultados BAU sin incorporar la aportación autónoma de la solar térmica con el fin de poder comparar con otros escenarios en términos de la demanda total de energía final. En este punto descontamos la aportación autónoma de la solar térmica para obtener el requerimiento de energía sobre el sistema interconectado.

⁸¹⁵ Pues a diferencia de la comparación en términos de energía primaria, 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.

Figura 469. Resultados acumulados de consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0 del subsector edificación residencial.

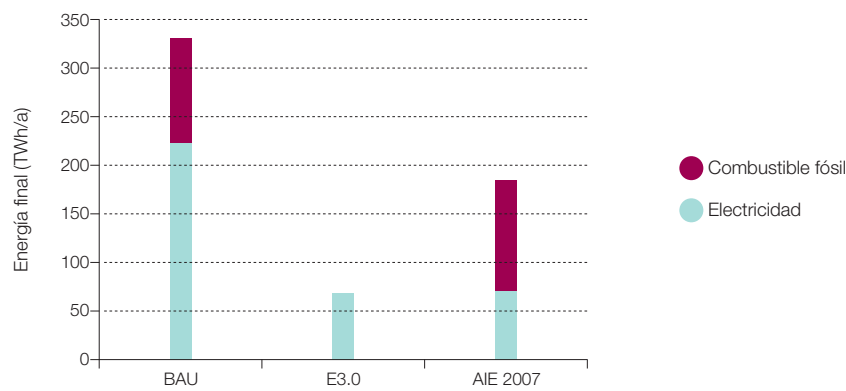
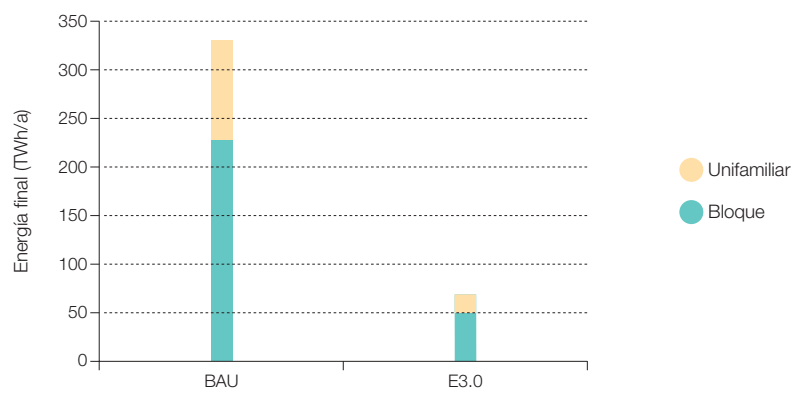


Figura 470. Reparto modal de consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0 del subsector edificación residencial.



elimina el consumo de combustibles fósiles que encontramos tanto en la actualidad como en el BAU.

En la figura 472 mostramos los resultados finales acumulados para el subsector de la edificación terciario, comparando los contextos BAU y E3.0, y añadiendo una comparación con la situación en el año 2007. Como podemos ver el ahorro alcanzado gracias a la introducción de

medidas de 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, pero además, 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 del subsector comercial en el sistema energético mediante 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. Es más, tal y como podemos observar, 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.

En la figura 473 recogemos el reparto modal del consumo de energía final en el subsector de edificación terciario, y en la figura 474 el correspondiente reparto provincial.

Figura 471. Distribución provincial del consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0 del subsector edificación residencial.

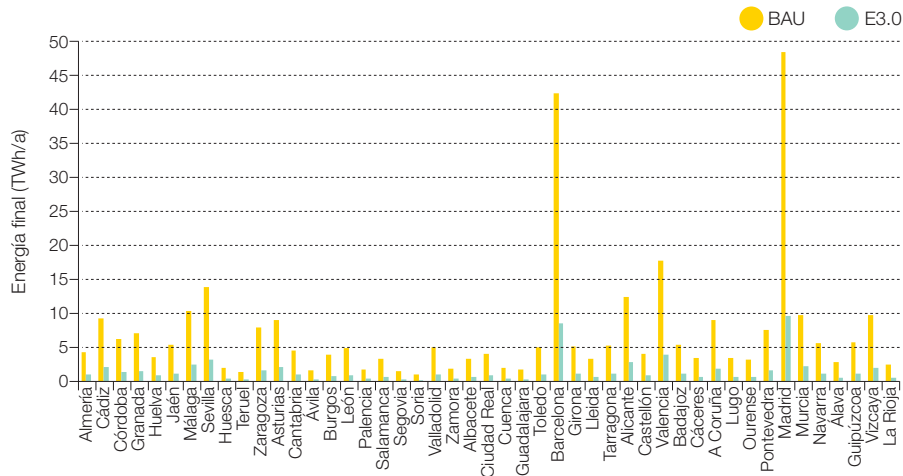


Figura 472. Resultados acumulados de consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0 del subsector edificación terciaria.

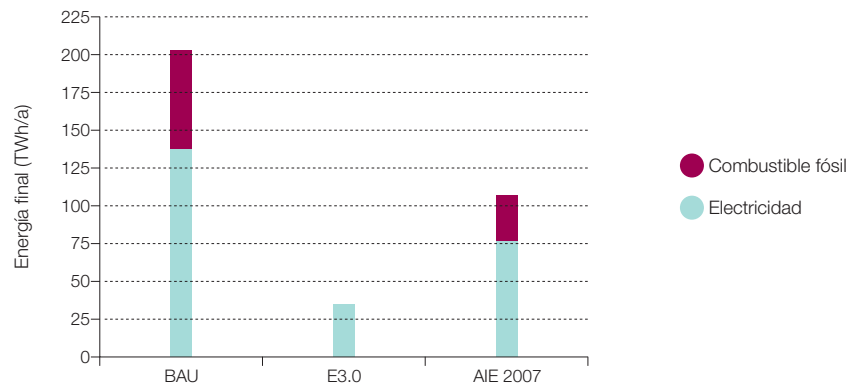


Figura 473. Reparto modal de consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0 del subsector edificación terciario.

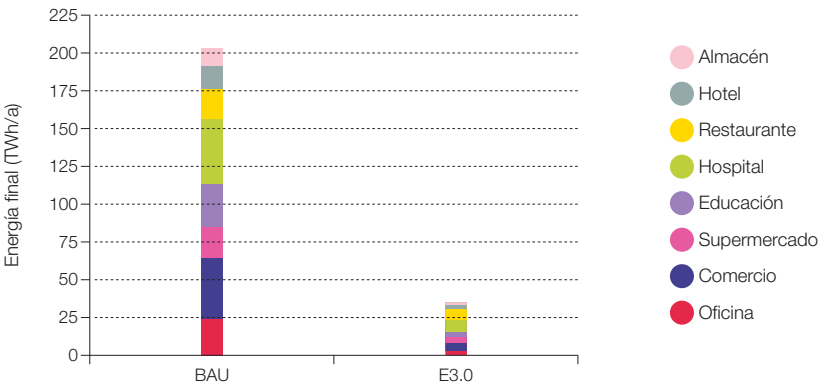
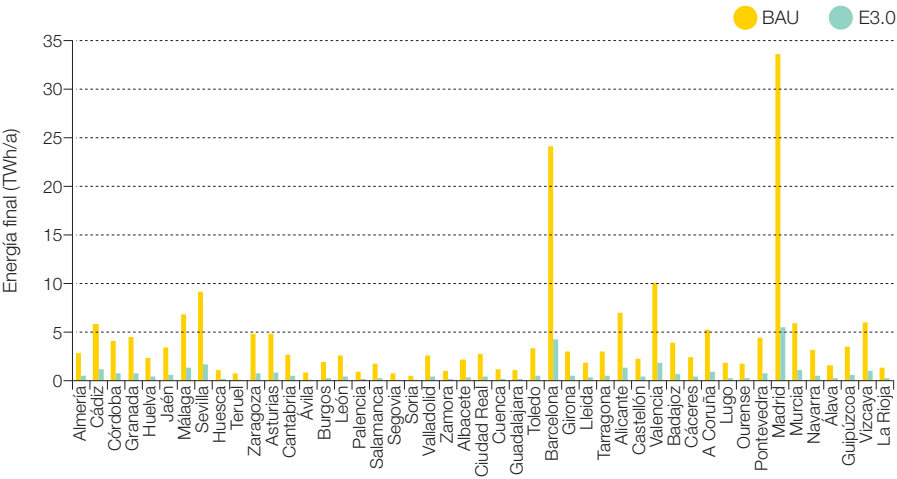


Figura 474. Distribución provincial del consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0 del subsector edificación terciario.



En la figura 475 mostramos los resultados finales acumulados para el conjunto del sector edificación, comparando los contextos BAU y E3.0, y añadiendo una comparación con la situación en el año 2007. Como podemos ver el ahorro alcanzado gracias a la introducción de medidas de 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, pero además, el consumo de electricidad en el contexto E3.0 es tan solo un 29% del consumo de electricidad en el contexto BAU, por lo que la integración del sector edificación en el sistema energético mediante 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. Es más, tal y como

Figura 475. Resultados acumulados de consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0 del sector edificación.

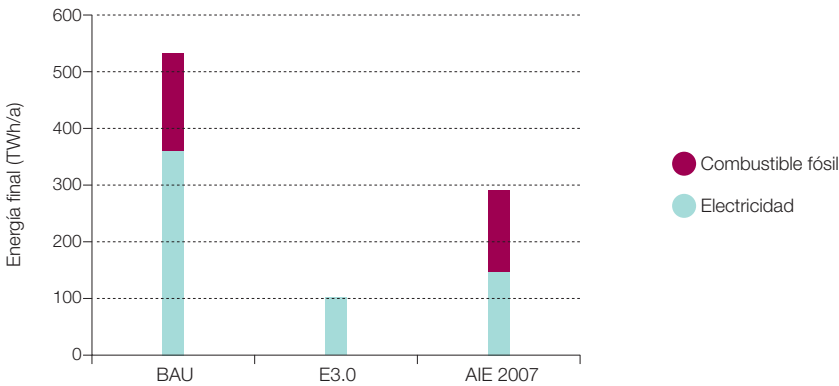


Figura 476. Reparto subsectorial de consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0, así como para el año 2007, del sector edificación.

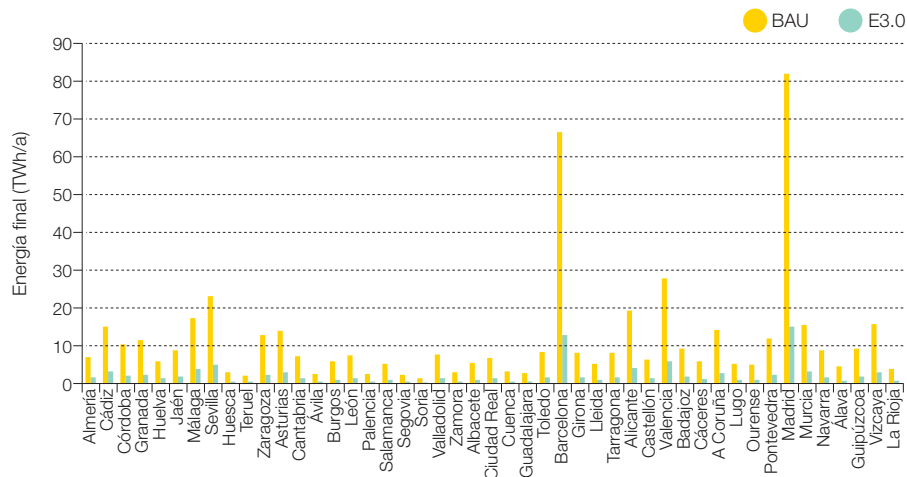


podemos observar, la demanda de electricidad en el contexto E3.0 es un 70% de la existente en el año 2007, de tal forma que además de eliminar el consumo de combustible fósil, la integración y electrificación de este sector deja hueco incluso en el sistema eléctrico actual para cubrir parcialmente la demanda de otros sectores (como el transporte) sin introducir requerimientos adicionales de potencia de generación y capacidad de transporte. En efecto, 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. Estos valores se deben comparar con la demanda total de electricidad para el sector transporte en el contexto E3.0, que como presentamos en el capítulo destinado a transporte asciende a 80 TWh/a.

En la figura 476 recogemos el reparto del consumo de energía final entre los subsectores residencial y terciario, para los contextos BAU y E3.0, así como para el año 2007.

Figura 477. Distribución provincial del consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0 del sector edificación.



En la figura 477 presentamos el reparto provincial de consumo de energía final del sector edificación en los contextos BAU y E3.0.

3.7.8 Escenario transición de BAU a E3.0

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.

En el capítulo de dedicado al sector de transporte introdujimos tres hipótesis del proceso de transición, que recogemos de nuevo en la figura 478.

El primer punto para confeccionar los escenarios de transición, según los escenarios de evolución del área de edificios construida anteriormente presentados, es confeccionar escenarios de evolución de los consumos específicos del

sector edificación, para lo cual debemos empezar por definir los puntos inicial y final de dichas trayectorias, y establecer las hipótesis de evolución a lo largo de las mismas, todo ello tanto para el contexto BAU como para las posibilidades que ofrece la tecnología en el contexto E3.0.

En la figura 479 recogemos los resultados obtenidos en este capítulo en forma de consumos específicos de energía final promedio, basados en el área útil edificada, para distintas situaciones. Los resultados los presentamos para el conjunto del sector edificación, para el conjunto del subsector residencial y para el conjunto del subsector terciario. Los resultados etiquetados como AIE 2007 se han elaborado de acuerdo con los balances de la AIE para el año 2007, y resultan por tanto representativos del parque de edificios actual⁸¹⁶. Los valores etiquetados como “potencial 2007” son los que corresponderían a la situación de que el conjunto del parque de edificios en 2007 se encontrara en uso y tuviera totalmente internalizada su demanda de servicios energéticos. Los otros dos casos

816 Nótese que el área empleada en el denominador de esta EUI es el área correspondiente al conjunto del parque edificado, que como confirmó el proceso de calibrado, resulta significativamente superior al área de edificios ocupados. Por tanto, las densidades de potencia presentadas en esta figura para el año 2007, en que hay una importante fracción del parque edificado que no se encuentra en uso o que no ha internalizado completamente su demanda, son inferiores a las que cabe esperar en un edificio actual que cubre toda su demanda de energía.

Figura 478. Evolución de la participación de la tecnología E3.0 en el consumo final de energía para los tres escenarios de transición considerados.

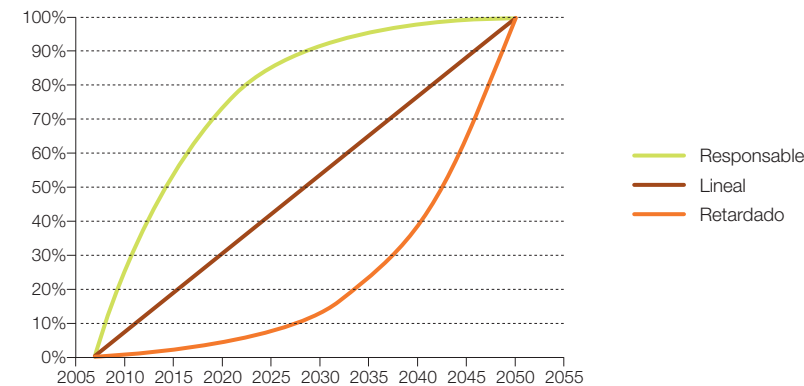
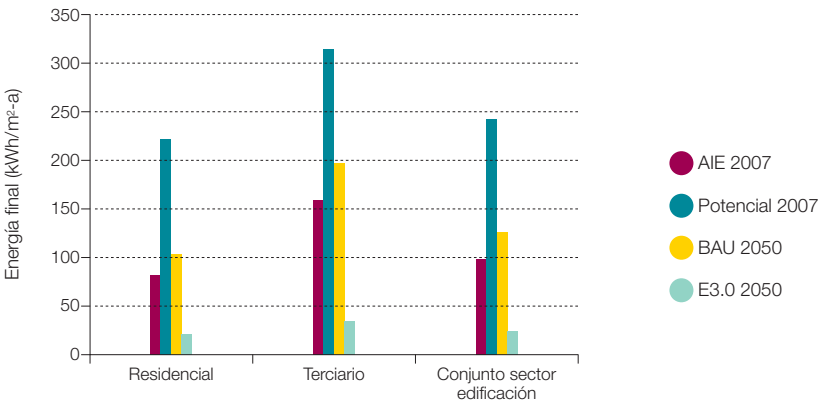


Figura 479. Valores promedio de consumo de energía final específica (en términos de área útil) para los subsectores residencial y comercial, así como para el conjunto del sector edificación, y en distintos contextos.



corresponden a los escenarios BAU y E3.0 para el año 2050. En este gráfico también obtenemos una indicación clara de los niveles de eficiencia asociados al contexto BAU (paso del “potencial 2007” al “BAU 2050”), y al contexto E3.0.

A continuación desarrollamos un escenario de evolución del consumo específico aparente de energía final en el contexto BAU

para el conjunto del sector edificación. El término “aparente” resulta del hecho de que en el numerador de este consumo específico figura el consumo real⁸¹⁷ mientras que en su denominador figura el total del área del parque edificado. En contraposición al consumo específico aparente, tenemos el consumo específico potencial, que sería el que resultaría al internalizar todos los elementos del numerador⁸¹⁸. Las hipótesis empleadas para

⁸¹⁷ Es decir, el de los edificios realmente ocupados y con el grado de internalización de los servicios energéticos que tengan realmente.

⁸¹⁸ Es decir, que toda el área del parque de edificios se encontrara en uso y que toda la demanda de servicios se encontrara internalizada.

Figura 480. Escenario de evolución del consumo específico de energía final del conjunto del parque edificatorio en el contexto BAU (aparente), comparada con la evolución del consumo específico potencial si se encontrara toda la demanda internalizada.

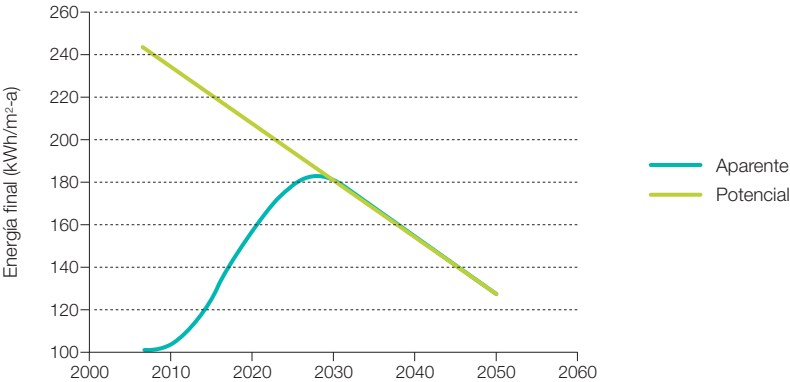
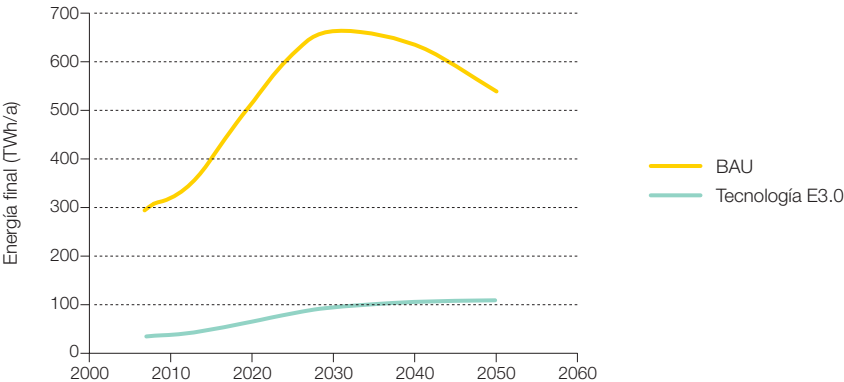


Figura 481. Escenario de evolución del consumo de energía final del conjunto del parque edificatorio en el contexto BAU, y el correspondiente a las posibilidades del contexto E3.0.



configurar este escenario de evolución del consumo específico de energía final son las siguientes:

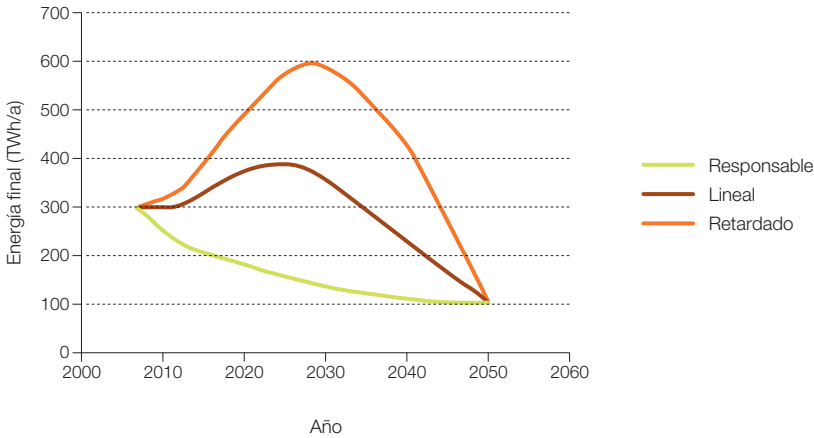
La introducción de medidas de eficiencia en el contexto BAU se realiza de forma lineal^{B19}. La internalización de la demanda de servicios energéticos y del uso del parque total edificado se desarrolla de forma no lineal, si-

guiendo la evolución que se puede observar en la figura, para completarse en el año 2030.

En estas condiciones, la figura 480 nos recoge el escenario de evolución del consumo específico aparente del sector edificación, junto a la del consumo específico potencial que refleja la introducción de medidas de eficiencia en el contexto BAU.

B19 Es de resaltar que esta hipótesis es probablemente demasiado optimista de acuerdo con la situación actual y el pasado reciente. En efecto, probablemente resultara más realista suponer un escenario retardado de introducción de las medidas de eficiencia en el contexto BAU.

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



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

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

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

3.8 Sector industria

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

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