

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 ambiente<sup>719</sup> (bombas de calor), la inversión adicional en un sistema de energía solar térmica puede quedar menos justificada que en la actualidad<sup>720</sup>.

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 igual<sup>721</sup> 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 actual<sup>722</sup> para los edificios nuevos. El porcentaje implementado ha sido un 50%<sup>723</sup>.

### 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 empleado<sup>724</sup> 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 provincial<sup>725</sup>.

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 presuponemos que los nuevos mecanismos de incentiación 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 tiempo<sup>726</sup> 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 origen<sup>727</sup>.
- 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 general<sup>728</sup> 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 CO<sub>2</sub> 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 lucernarios<sup>729</sup>, 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 inicial<sup>730</sup>.

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 optimización<sup>731</sup> 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 climatización<sup>732</sup>, demanda de electricidad para iluminación, y demanda de electricidad para equipamiento.

El criterio empleado para elegir el espesor óptimo de aislante<sup>733</sup> en los estudios paramétricos que presentaremos a continuación ha sido el siguiente<sup>734</sup>: 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 incremental<sup>735</sup> 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

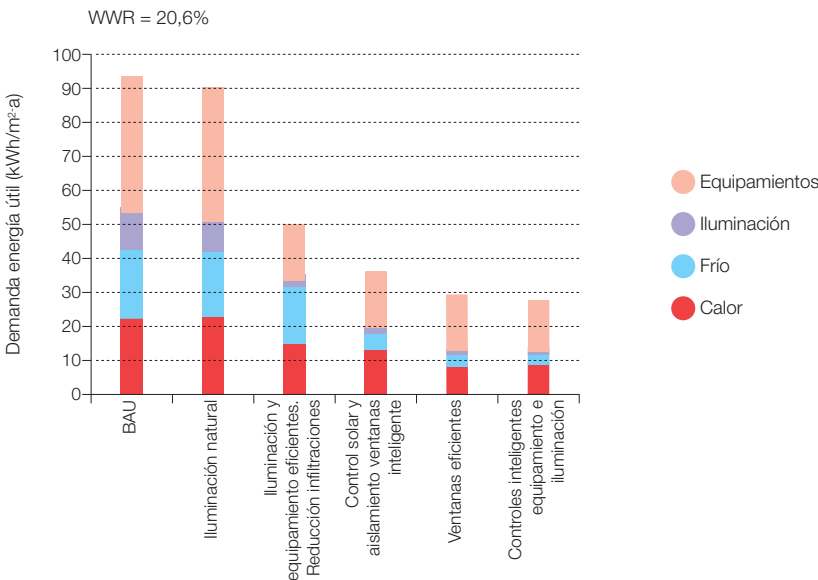
Los niveles de inteligencia “interna” que hemos implementado en las simulaciones son fundamentalmente los debidos a la optimización de la ventilación natural nocturna para refrigerar el edificio, los de gestión de la ventilación a lo largo del todo el año para no generar cargas térmicas posibles de evitar, 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-ópticas<sup>736</sup> 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 disponer<sup>737</sup>.

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 eficiencia<sup>738</sup>

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 si 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 final<sup>739</sup> 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.

### 3.7.7.1.1.2 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 invertido<sup>740</sup> que vamos a implementar<sup>741</sup> 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 BAU<sup>742</sup> 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 2050<sup>743</sup> 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 paredes<sup>744</sup> en los distintos emplazamientos climáticos considerados. Los resultados los vamos a presentar en términos de demanda de servicios energéticos de climatización como demanda térmica total<sup>745</sup>, y el punto de partida es el resultante de la aplicación de medidas de eficiencia del contexto E3.0 presentado en el punto anterior<sup>746</sup>. El caso correspondiente al nivel de aislamiento BAU a menudo se puede identificar en las figuras por ser el único número con decimales<sup>747</sup>, 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

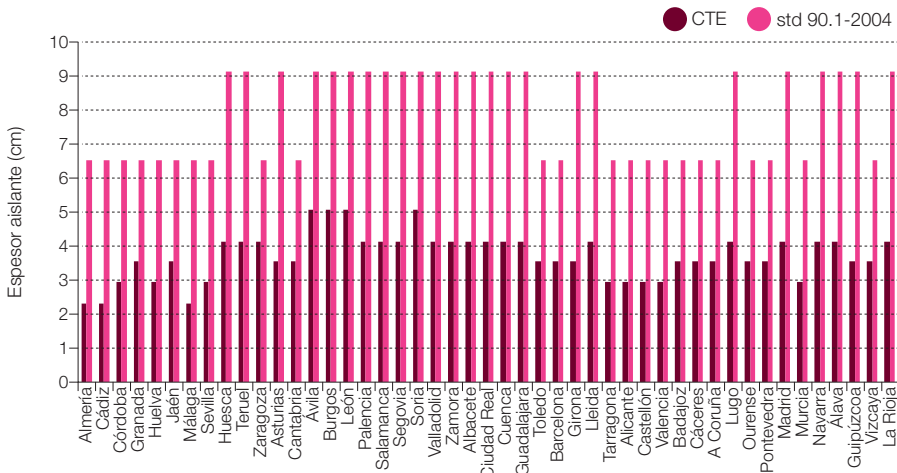
despliegue de inteligencia es desde el punto de vista de la gestión y respuesta de la demanda a los requerimientos del sistema energético, por lo que su efecto lo incorporaremos al analizar el conjunto del sistema.

**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.

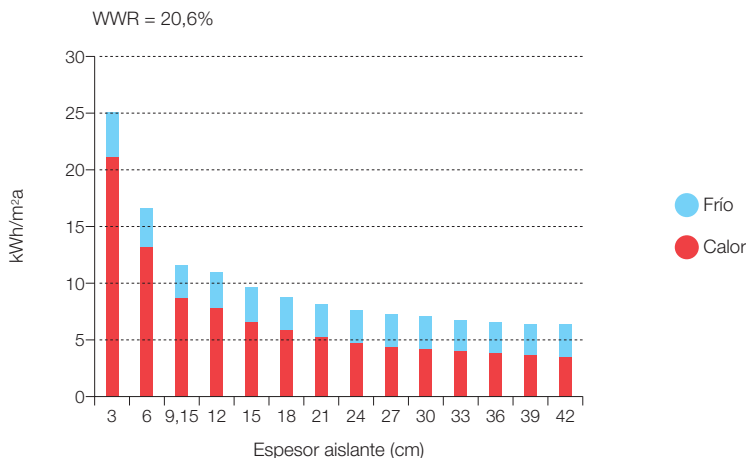
**739** Un ejemplo típico es el de aplicación de bombas de calor para la cobertura de la demanda de climatización, que en un contexto eficiente permiten reducir en el orden de 10 veces (el COP de la bomba de calor) la demanda eléctrica final respecto a la demanda de energía térmica para proporcionar 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 CTE<sup>748</sup> 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.

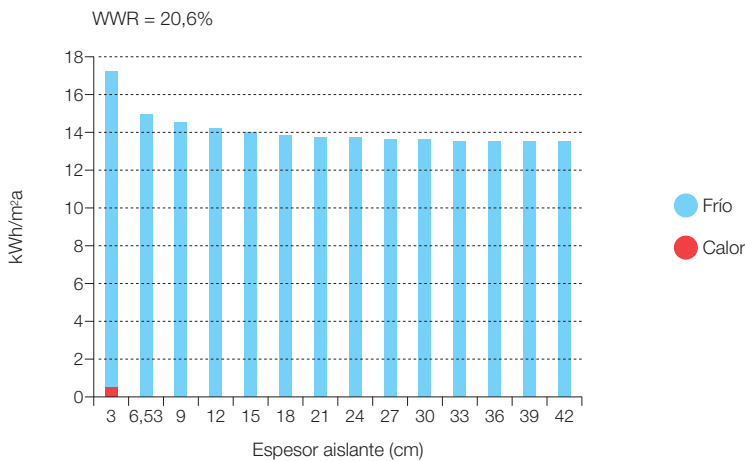
**744** Idealmente la optimización de medidas de eficiencia debería acometerse mediante una formulación multivariable en la que simultáneamente se halle la combinación óptima de medidas de eficiencia, de tal modo que puedan ser retenidas las interacciones



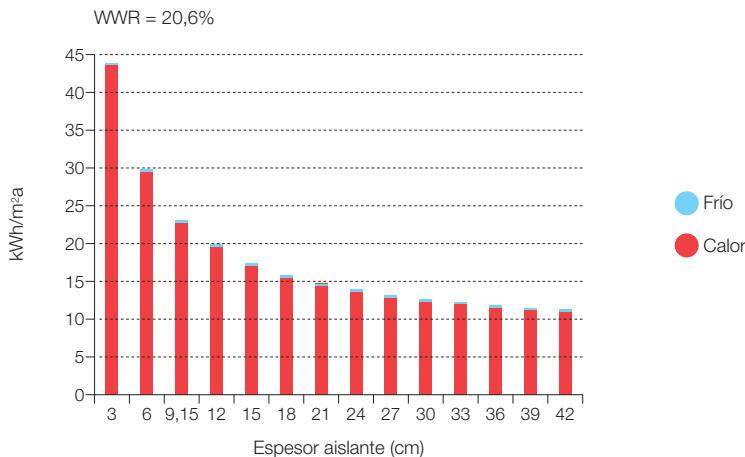
característicos del estándar Passiv Haus tienen sentido en este emplazamiento climático, lo que permite acceder a grandes reducciones

en la demanda de servicios de climatización. En este emplazamiento climático, la aplicación de niveles elevados de aislamiento 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.

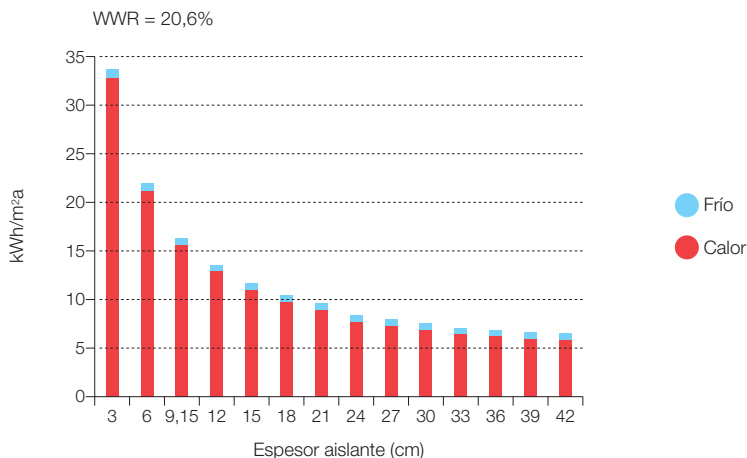
La figura 324 reproduce los resultados para Almería (zona A4 del CTE). Como podemos observar, en este emplazamiento climático de elevada severidad climática de verano, el efecto del aislamiento es mucho más limitado, de tal forma que no tiene sentido la aplicación de los niveles de aislamiento del estándar 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 combatir<sup>749</sup> 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.

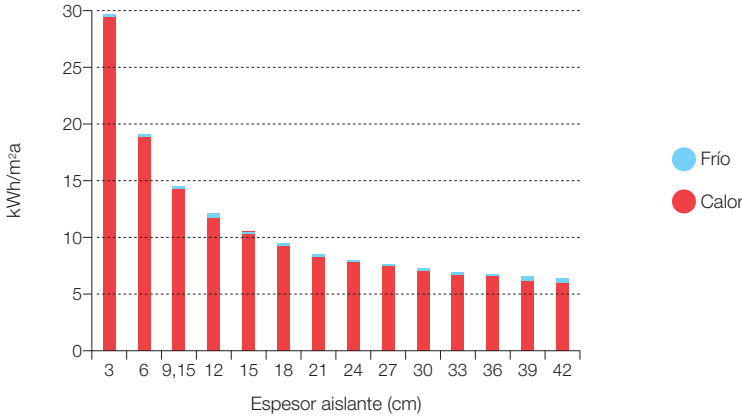
**Figura 326.** Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ( $k = 0,04$  W/mK) de las paredes sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Cubierta BAU. Suelo BAU para zona D3. Segovia (D2). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 30 cm, mientras que el BAU implementa 9,15 cm y el CTE exige 4,13 cm.



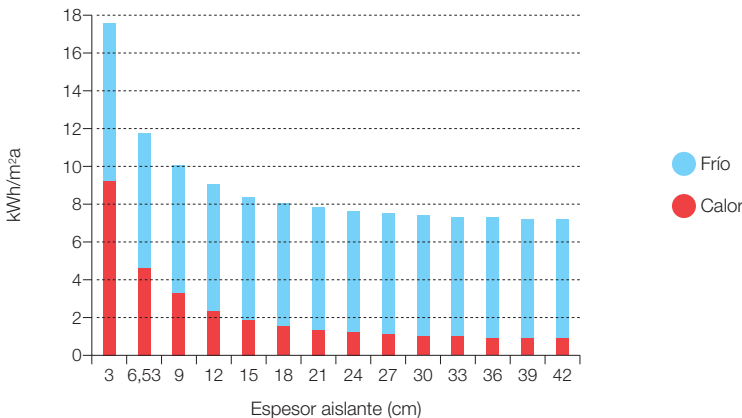
**749** Es preciso tener en cuenta que estos resultados ya incorporan la aplicación de medidas de inteligencia tanto a la protección solar dinámica de los huecos del edificio, como de la ventilación inteligente para sacar el máximo provecho del enfriamiento gratuito. La aplicación de inteligencia a la 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.



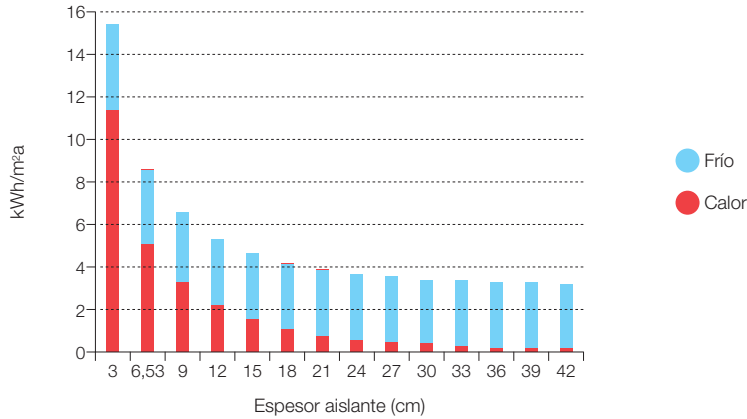
**Figura 328.** Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ( $k = 0,04$  W/mK) de las paredes sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Cubierta BAU. Suelo BAU para zona D3. Badajoz (C4). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 15 cm, mientras que el BAU implementa 6,53 cm y el CTE exige 3,54 cm.



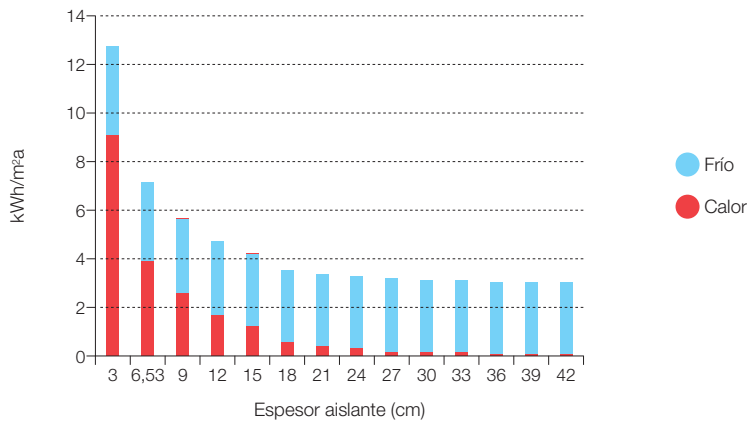
La figura 327 reproduce los resultados para Pamplona (zona D1 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 27 cm.

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.



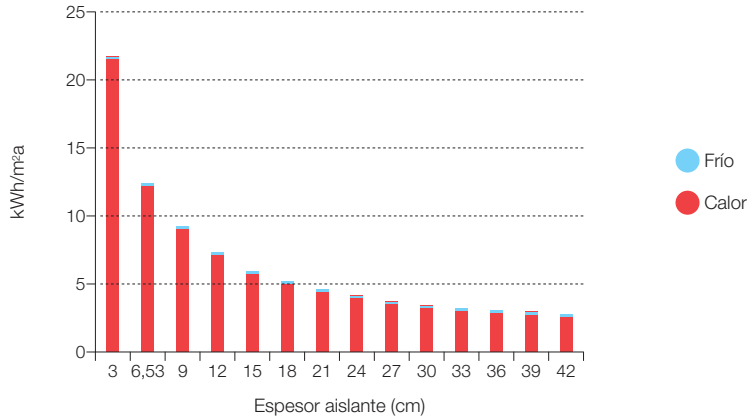
**Figura 330.** Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ( $k = 0,04 \text{ W/mK}$ ) de las paredes sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Cubierta BAU. Suelo BAU para zona D3. Barcelona (C2). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 18 cm, mientras que el BAU implementa 6,53 cm y el CTE exige 3,54 cm.



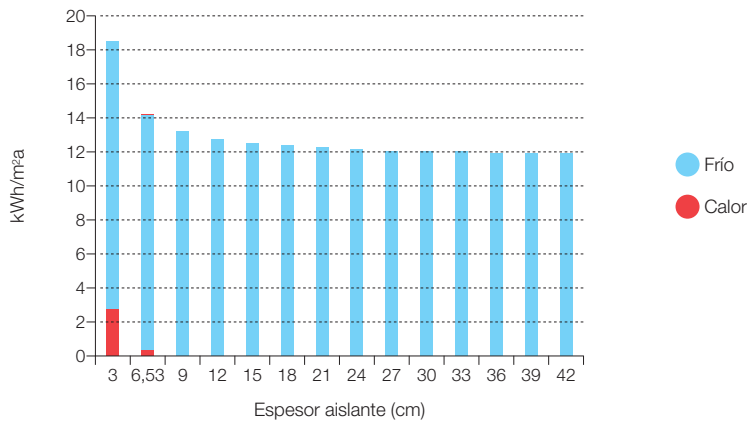
La figura 329 reproduce los resultados para Granada (zona C3 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 18 cm.

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.



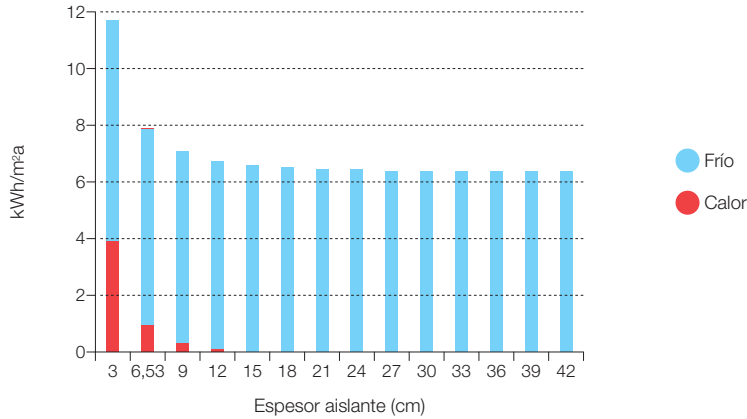
**Figura 332.** Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ( $k = 0,04 \text{ W/mK}$ ) de las paredes sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Cubierta BAU. Suelo BAU para zona D3. Sevilla (B4). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 12 cm, mientras que el BAU implementa 6,53 cm y el CTE exige 2,94 cm.



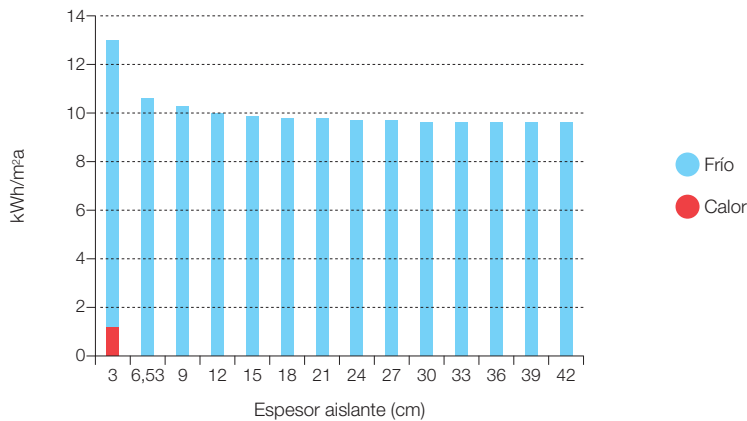
La figura 331 reproduce los resultados para Bilbao (zona C1 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 24 cm.

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.

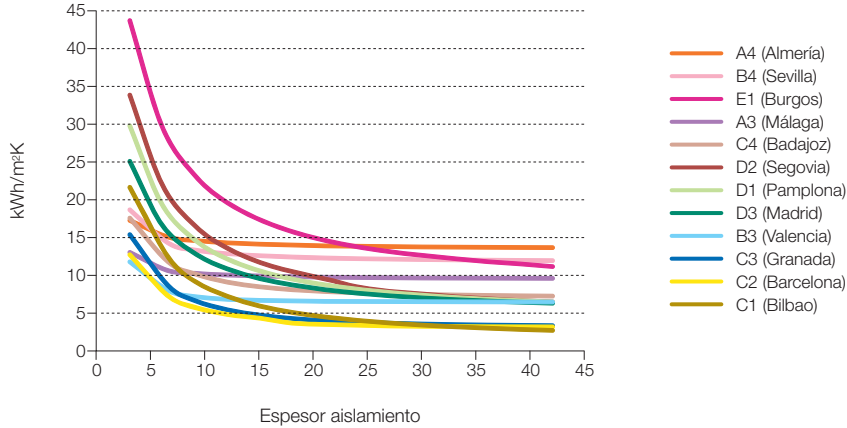


La figura 333 reproduce los resultados para Valencia (zona B3 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 9 cm.

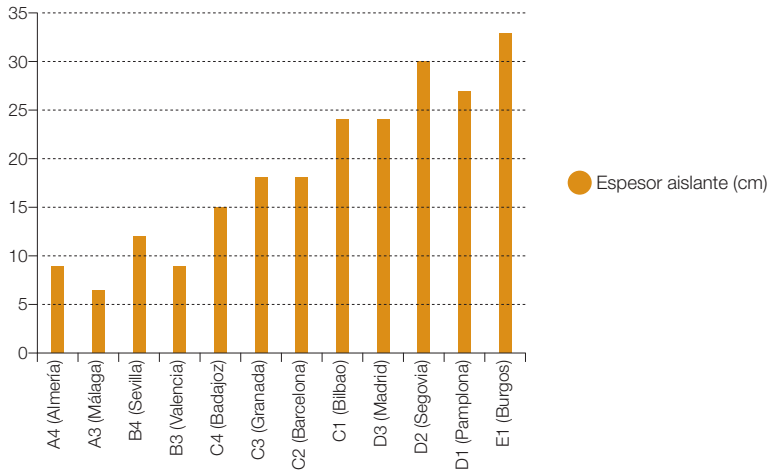
La figura 334 reproduce los resultados para Málaga (zona A3 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 6,53 cm<sup>750</sup>.

<sup>750</sup> 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 negavattios<sup>751</sup>, 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 negavattios adicionales.
- En el caso de un sistema de generación integrado, inteligente y basado en renovables, algunos de los vattios generables resultan siempre más económicos que los negavattios 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

<sup>751</sup> Se denomina *negavatio* al consumo que no se produjo como consecuencia de la aplicación de medidas de eficiencia. En rigor, tendríamos que hablar de negavattios-hora por tratarse de una medida de la energía (y no la potencia) que no se consumió, en contraste a los vattios-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 contratada<sup>752</sup> 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 considerada<sup>753</sup> es de 30,39 €/kW-a y el de energía de 14,3143 c€/kWh, con una potencia contratada<sup>754</sup> 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.

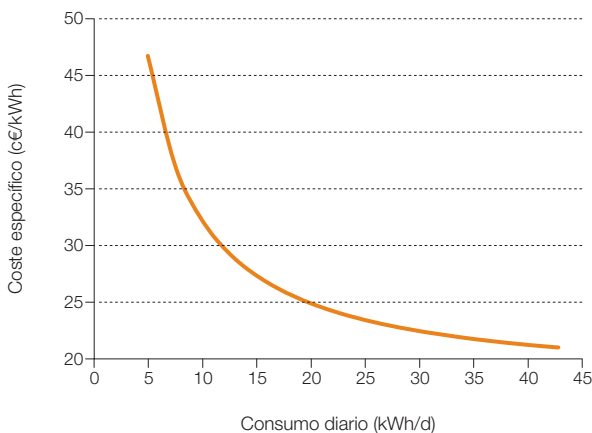
figura 337, el coste específico de la electricidad para el usuario final experimenta un gran incremento exponencial a medida que se reduce el nivel de consumo (es decir: a medida que se aplican medidas de eficiencia), de tal forma que lejos de valorarse positivamente la aplicación de medidas de eficiencia, 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 edificación<sup>755</sup>.

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 permite<sup>756</sup> 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 negavativos.
- 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 informe<sup>757</sup> 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 empujadas, 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 €/m<sup>3</sup>, 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.

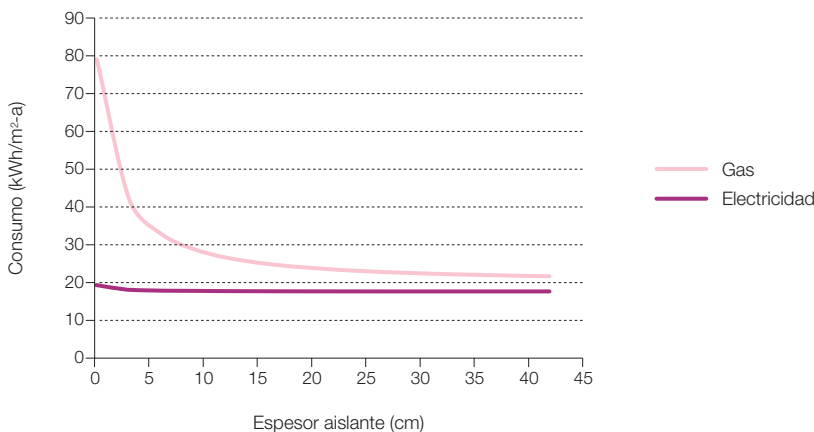
Otros parámetros económicos considerados han sido los siguientes: Vida útil del edificio y periodo de análisis económico = 100 años; vida útil de los equipos de generación = 20 años (por tanto se consideran 4 reposiciones en el periodo de análisis económico); interés del dinero = 1%/a (reflejando los 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 medida 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.

estas medidas de eficiencia hasta alcanzar su condición de saturación.

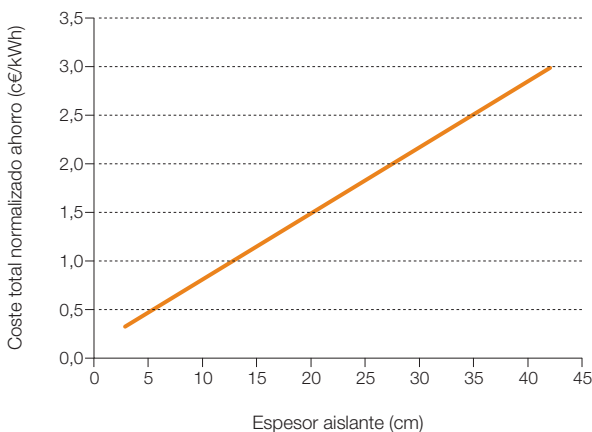
Si relacionamos los ahorros económicos conseguidos por la aplicación de la medida de eficiencia (reducción consumo gas y electricidad) con los costes asociados al despliegue de esta medida de eficiencia, en términos normalizados a lo largo de la vida del edificio, obtenemos la cuantificación del coste 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

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).



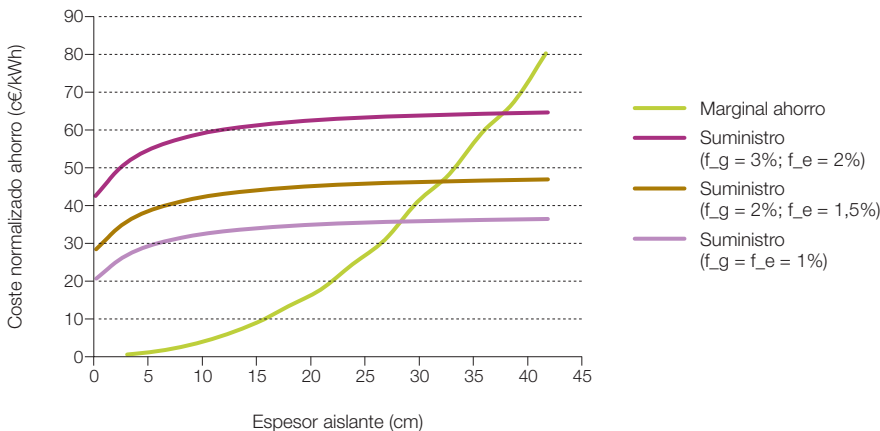
ahorro, este incremento es una consecuencia de la saturación y rendimientos decrecientes en la aplicación de esta medida de eficiencia. Por lo que respecta al coste del suministro el incremento es debido por un lado a la desfavorable estructura de la tarificación energética por lo que respecta a la incentiación 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 anterior<sup>758</sup> 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).



<sup>758</sup> Para este caso, con el edificio emplazado en Madrid, el espesor elegido fue de 24 cm.

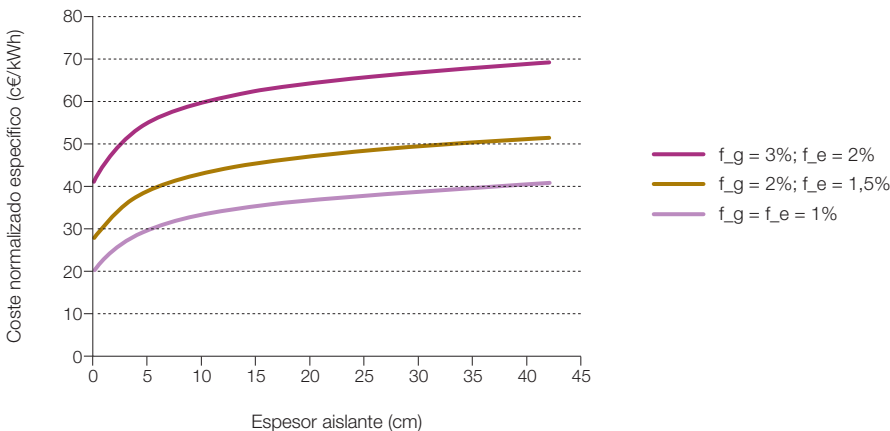


esta demanda se cubre mediante medidas de eficiencia (negavattios) mientras que otra parte se cubre con el suministro de energía. En estas condiciones, el denominador del coste específico (energía total demandada) es constante para todos los valores del espesor de aislante. Tal y como muestra la figura, 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 medida 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).



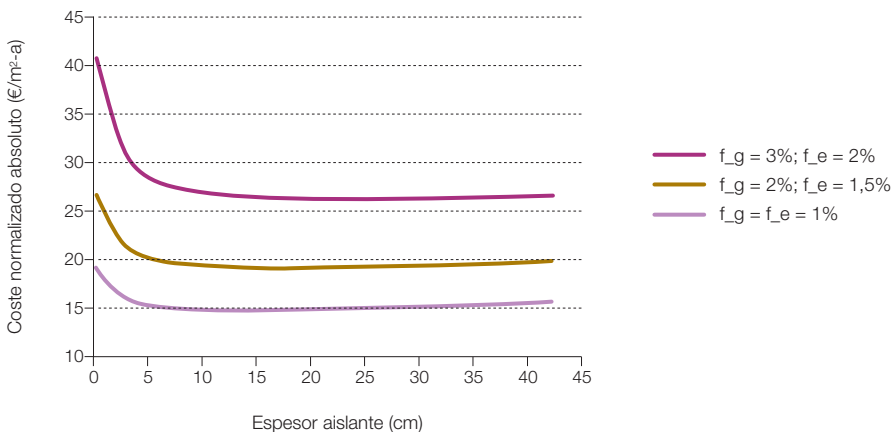
esta medida de eficiencia. Pero es más, a la derecha del mínimo la curva es muy plana, por lo que excederse en la aplicación de la medida de eficiencia no presenta una penalización económica importante, mientras que quedarse corto sí que conduce a una importante penalización económica. Si a esto le añadimos 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 específico<sup>759</sup>, 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 actuación<sup>760</sup>.

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:

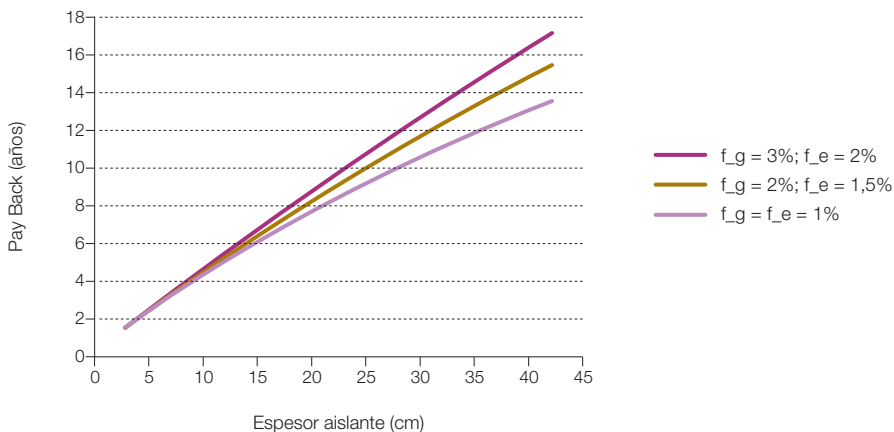
- Los costes actuales<sup>761</sup> de los combustibles a los que sustituye la medida de eficiencia no internalizan ni el conjunto de sus impactos actuales, ni su futura inflación como consecuencia de usar un recurso limitado sobre el que la demanda va a crecer de forma muy importante.
- Se deja fuera 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.



<sup>761</sup> 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.

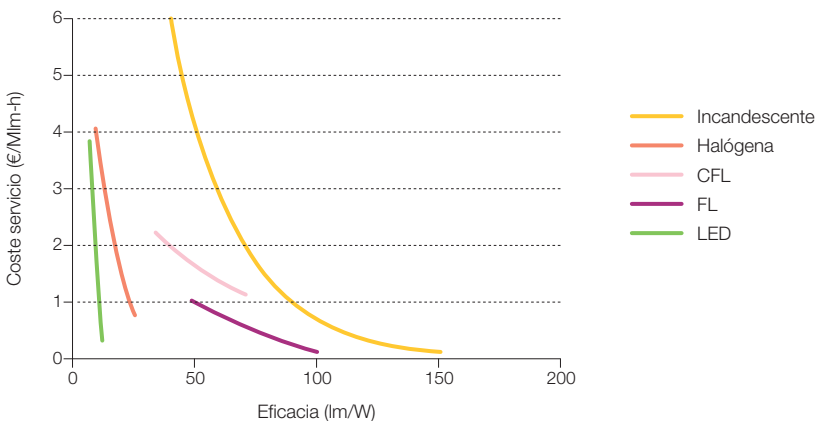
En efecto, consideremos el efecto de las regulaciones sobre el nivel de eficiencia de los equipos. A medida que se va incrementando el requerimiento regulatorio e introduciendo límites para la entrada en el mercado de los equipos menos eficientes, debido al mayor mercado y perspectiva de futuro de los equipos eficientes, su coste puede resultar incluso inferior del de equipos de menor eficiencia<sup>762</sup>, 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 muestran<sup>763</sup> 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 eficientes<sup>764</sup>, 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 CO<sub>2</sub> de distintas estrategias. Para el sector edificación, más del 70% del potencial de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> 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

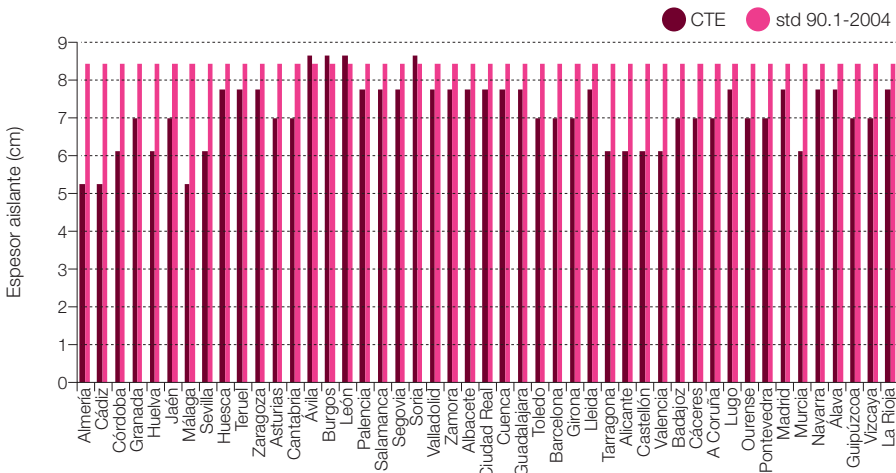
de las tecnologías que dominan el contexto E3.0 como son las bombas de calor, en (AIE, 2010) se muestran proporcionando costes negativos en muchos emplazamientos, entre los que destacan países como Japón que ya han llevado las exigencias regulatorias sobre la eficacia de las bombas de calor a unos niveles 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).



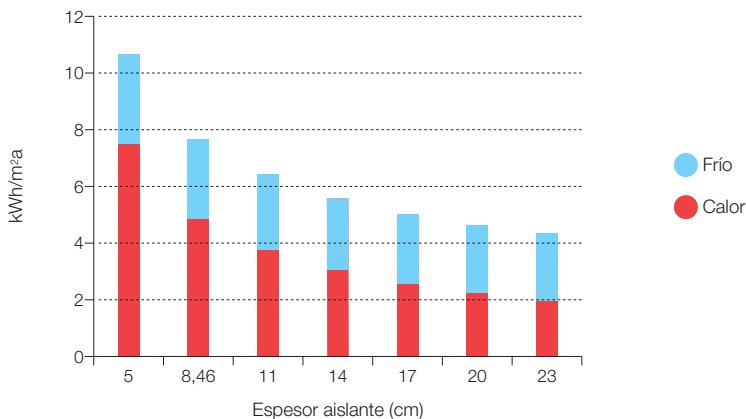
El edificio considerado incorpora las medidas de eficiencia del contexto E3.0 mencionadas en el apartado anterior, así como el espesor óptimo de aislante de pared elegido en el apartado anterior. Además<sup>765</sup>, para este caso se ha incorporado el espesor de aislante BAU para cada emplazamiento climático y se ha analizado la idoneidad de introducir una cubierta fría<sup>766</sup> en los distintos emplazamientos climáticos<sup>767</sup>.

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.

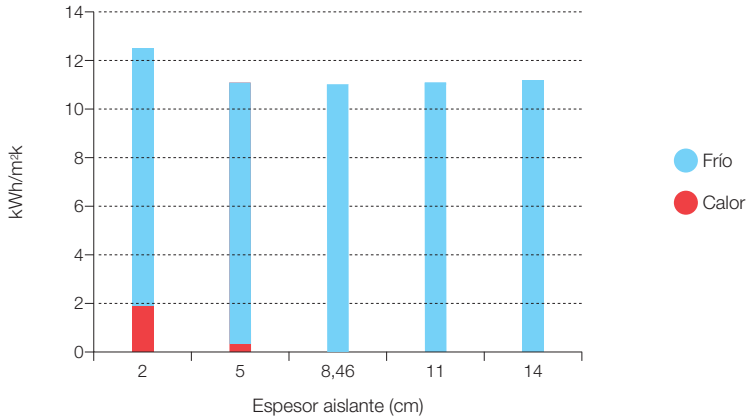


**765** Como consecuencia de haber introducido elementos adicionales, hay emplazamientos en los que el punto de los gráficos mostrados en este apartado que representan el valor con aislamiento BAU en cubierta no coinciden con los puntos correspondientes de los gráficos del apartado anterior.

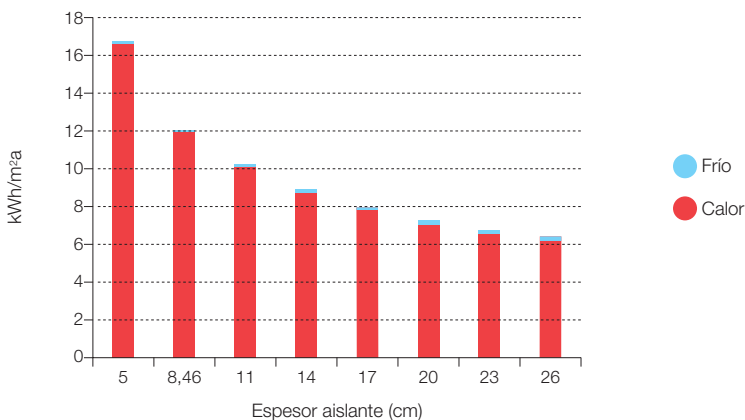
**766** Se conoce como cubierta fría aquellos acabados de cubierta con unas propiedades termo-ópticas que reducen la temperatura de equilibrio a la que se queda la superficie al estar irradiada por el sol. Por tanto, el techo frío tiene el potencial de reducir la demanda de refrigeración del edificio, 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 ( $\alpha_s$ ) y su emisividad infrarroja ( $\epsilon$ ). 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 ( $k = 0,04$  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.



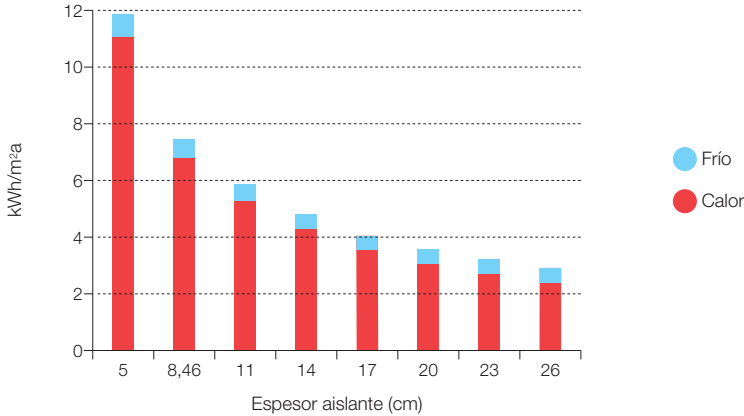
**Figura 348.** Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ( $k = 0,04$  W/mK) en cubierta sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared óptima, suelo BAU. Burgos (E1). El valor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 23 cm, mientras el contexto BAU implementa 8,46 cm, y el CTE exige 8,70 cm.



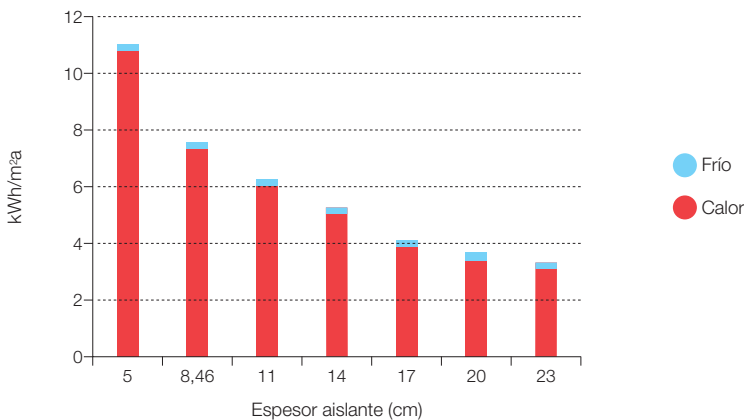
La figura 348 reproduce los resultados para Burgos (zona E1 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 23 cm.

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.



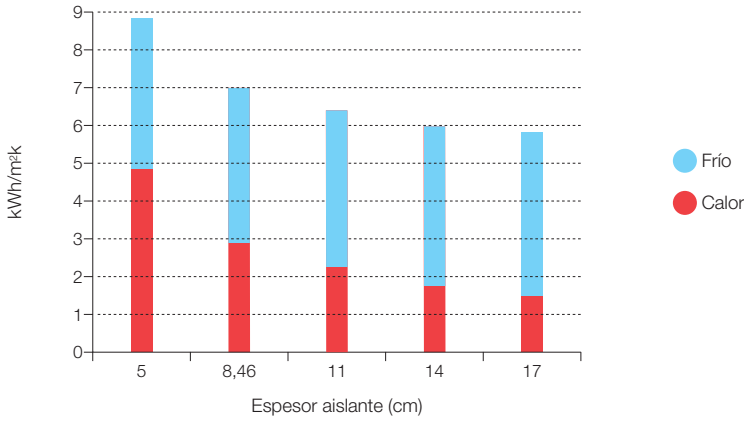
**Figura 350.** Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ( $k = 0,04 \text{ W/mK}$ ) en cubierta sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared óptima, suelo BAU. Pamplona (D1). El valor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 20 cm, mientras el contexto BAU implementa 8,46 cm, y el CTE exige 7,80 cm.



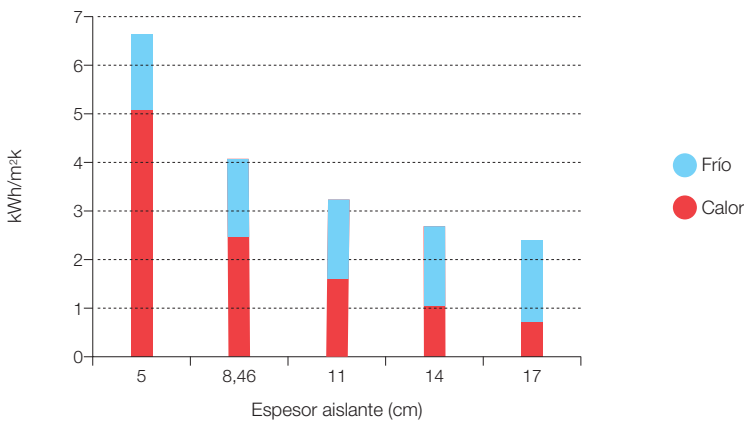
La figura 349 reproduce los resultados para Segovia (zona D2 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 20 cm.

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.



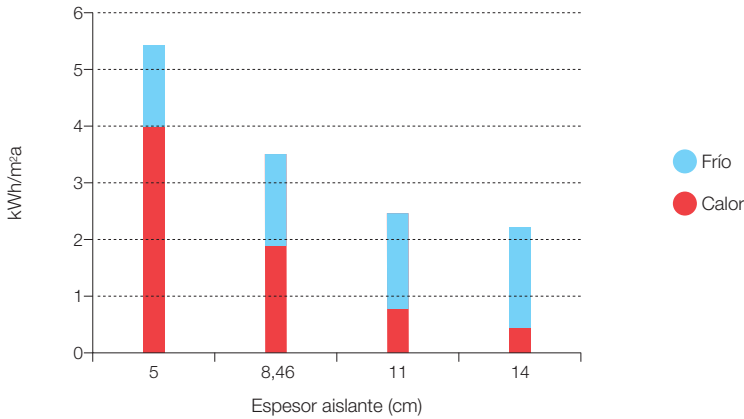
**Figura 352.** Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ( $k = 0,04 \text{ W/mK}$ ) en cubierta sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared óptima, suelo BAU. Granada (C3). Cubierta fría. El valor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 14 cm, mientras el contexto BAU implementa 8,46 cm, y el CTE exige 7,03 cm.



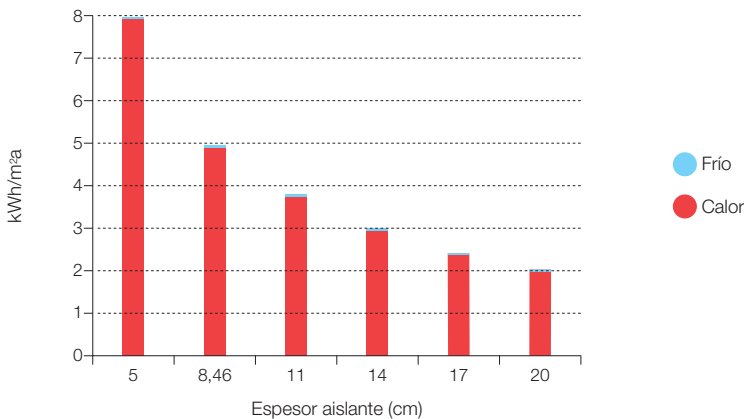
La figura 351 reproduce los resultados para Badajoz (zona C4 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 14 cm.

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.



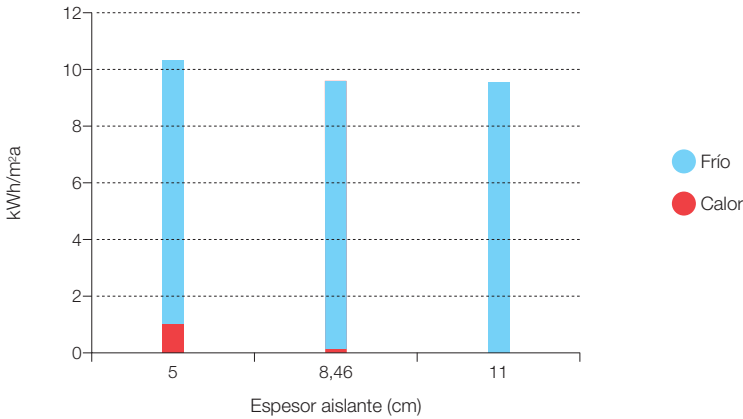
**Figura 354.** Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ( $k = 0,04 \text{ W/mK}$ ) en cubierta sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared óptima, suelo BAU. Bilbao (C1). El valor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 17 cm, mientras el contexto BAU implementa 8,46 cm, y el CTE exige 7,03 cm.



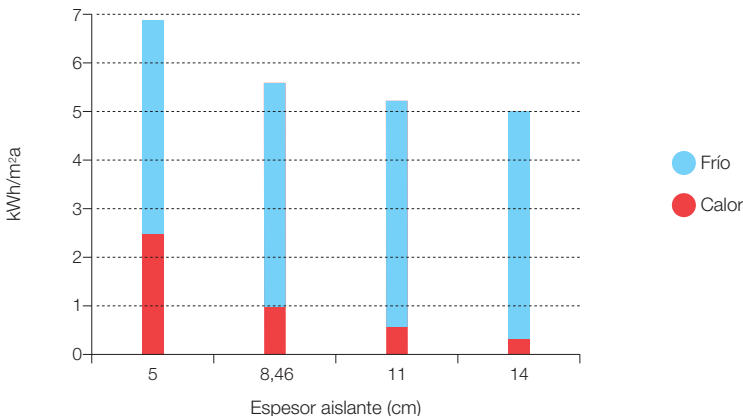
La figura 353 reproduce los resultados para Barcelona (zona C2 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 11 cm.

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.



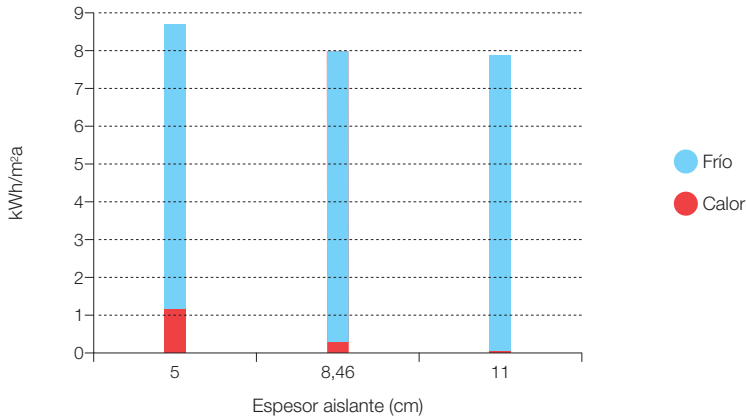
La figura 355 reproduce los resultados para Sevilla (zona B4 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 8,46 cm<sup>768</sup>.

La figura 356 reproduce los resultados para Valencia (zona B3 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 8,46 cm<sup>769</sup>.

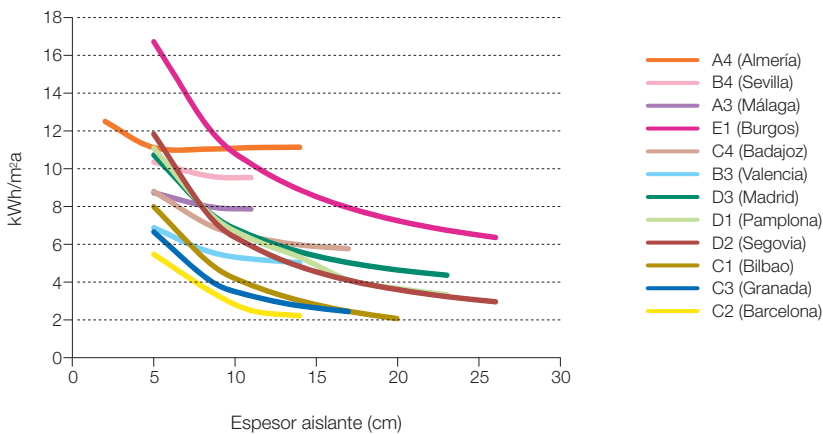
**768** Este valor con decimales corresponde al caso BAU, ajustado para cumplir con el requerimiento del std 90.1-2004 con la solución constructiva implementada.

**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 cm<sup>770</sup>.

En la figura 358 recogemos los resultados de los distintos estudios paramétricos para poder observar, de forma comparativa, entre

<sup>770</sup> 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.

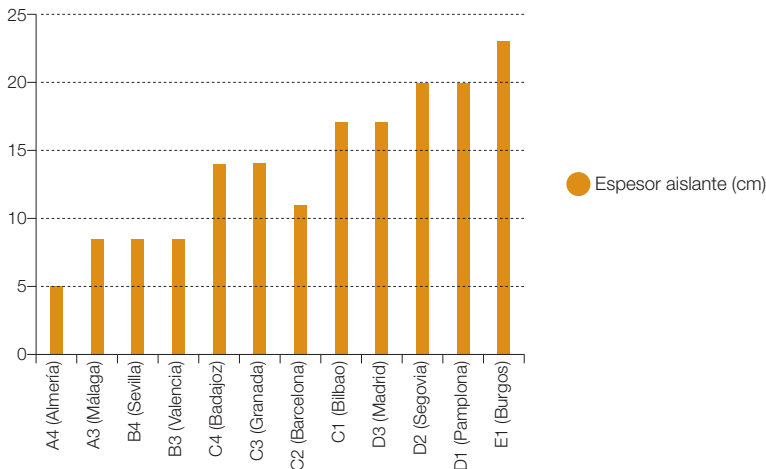
El edificio considerado incorpora todos los elementos del contexto E3.0 del apartado anterior y además para cada emplazamiento implementa el nivel óptimo de aislamiento de cubierta determinado en el apartado anterior.

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.

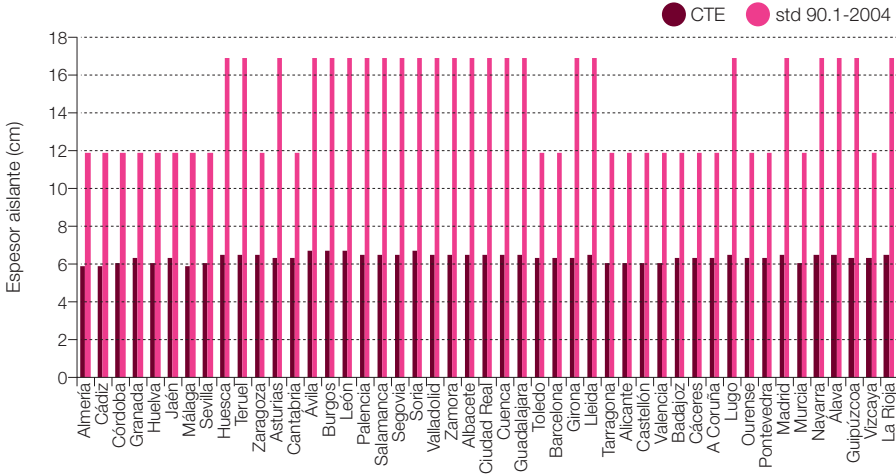
La figura 361 reproduce los resultados para Madrid (zona D3 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 16,9 cm<sup>771</sup>.

**Figura 359.** Agrupación de los espesores óptimos de aislante ( $k = 0,04 \text{ W/mK}$ ) de la cubierta adoptados para cada emplazamiento climático.

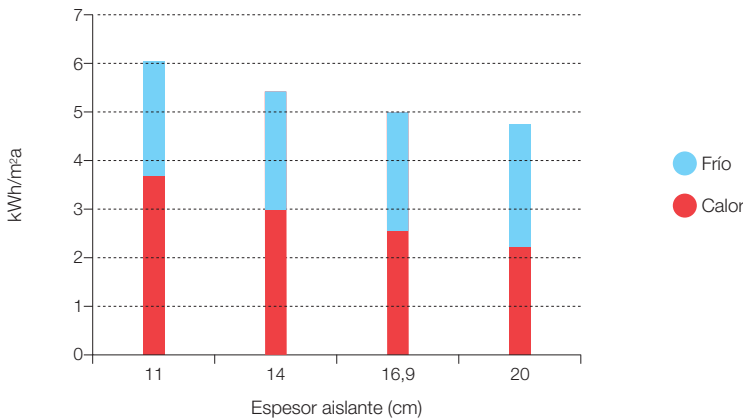


<sup>771</sup> Este valor con decimales corresponde a que este es el espesor BAU, obtenido al imponer que la solución constructiva cumpla el requerimiento del std 90,1-2004.

**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).

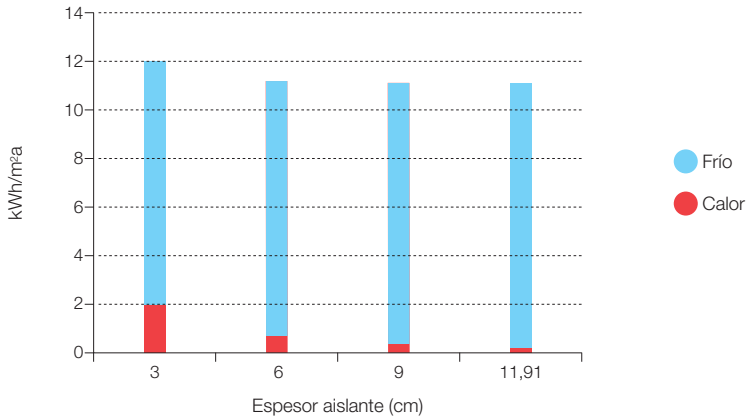


**Figura 361.** Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ( $k = 0,04 \text{ W/mK}$ ) en suelo sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared y cubierta óptimas. Madrid (D3). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 16,9 cm, mientras que el BAU implementa 16,9 cm y el CTE exige 6,51 cm.

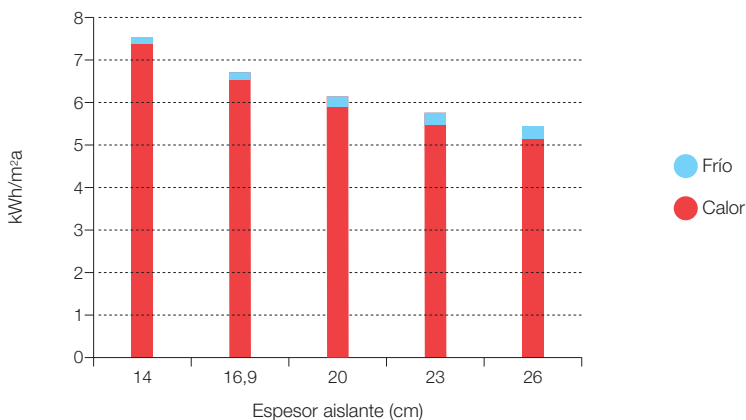




**Figura 362.** Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ( $k = 0,04$  W/mK) en suelo sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared y cubierta óptimas. Almería (A4). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 6 cm, mientras que el BAU implementa 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.

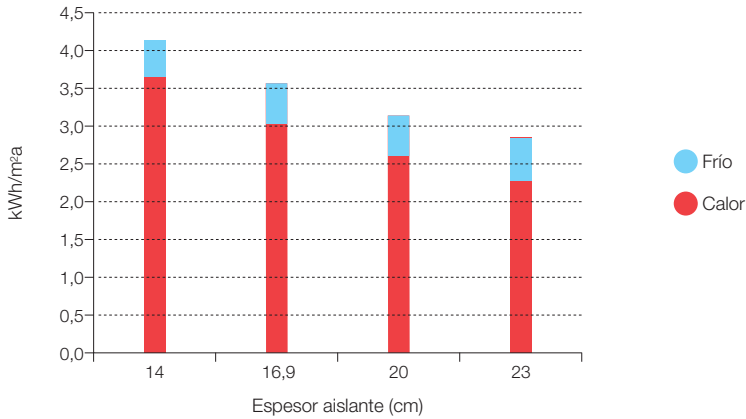


La figura 362 reproduce los resultados para Almería (zona A4 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 6 cm<sup>772</sup>.

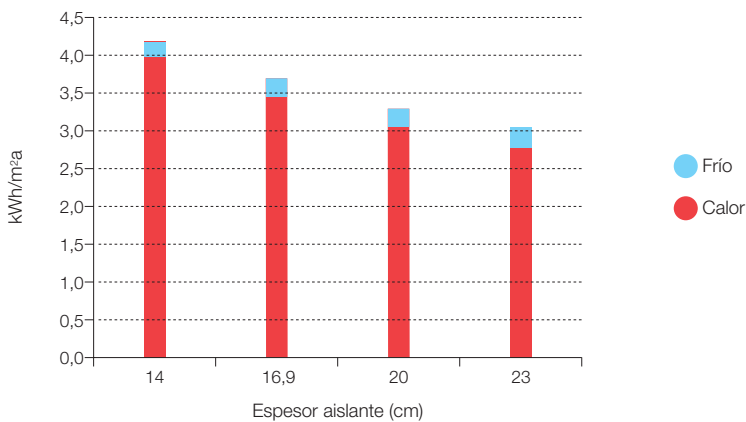
La figura 363 reproduce los resultados para Burgos (zona E1 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 23 cm.

<sup>772</sup> 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.



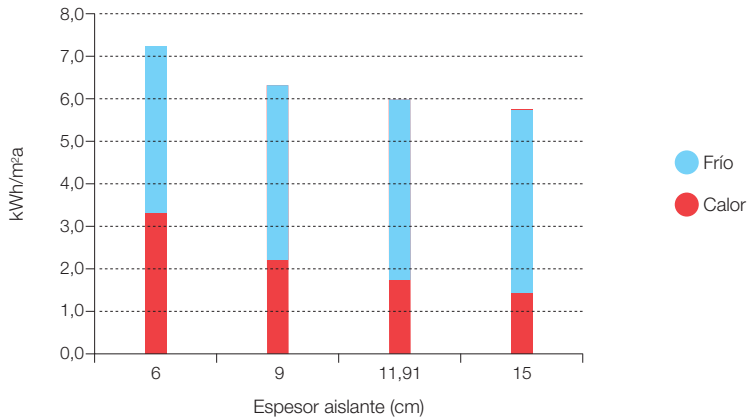
**Figura 365.** Resultado del estudio paramétrico del efecto del espesor de aislante ( $k = 0,04$  W/mK) en suelo sobre la demanda de servicios energéticos de climatización. Pared y cubierta óptimas. Pamplona (D1). El espesor de aislante elegido para el contexto E3.0 es de 16,9 cm, mientras que el BAU implementa 16,9 cm y el CTE exige 6,51 cm.



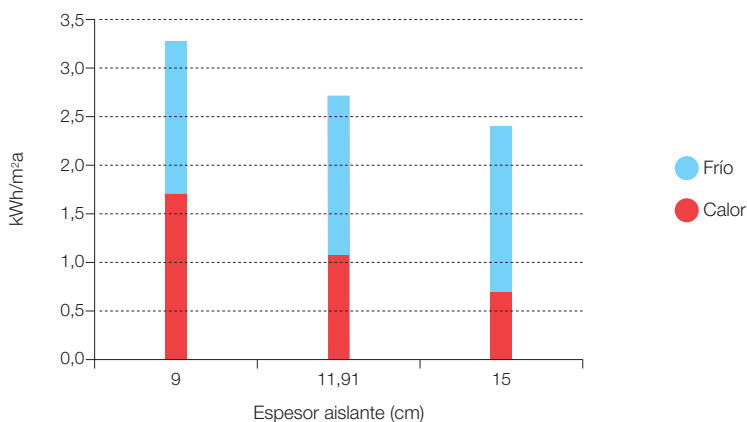
La figura 364 reproduce los resultados para Segovia (zona D2 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 20 cm.

La figura 365 reproduce los resultados para Pamplona (zona D1 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 16,9 cm<sup>773</sup>.

**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.

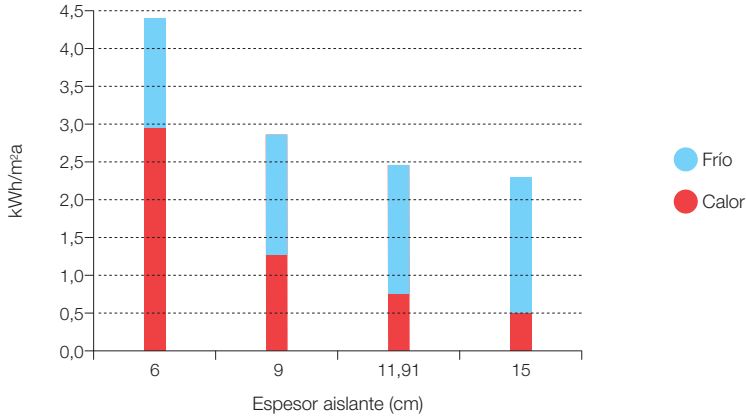


La figura 366 reproduce los resultados para Badajoz (zona C4 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 9 cm<sup>774</sup>.

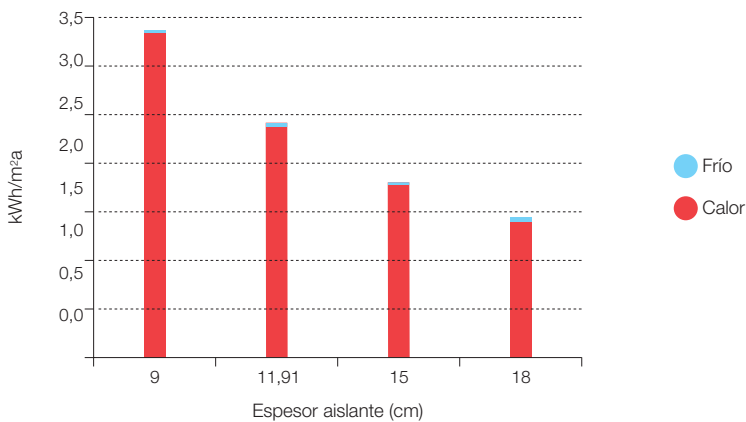
La figura 367 reproduce los resultados para Granada (zona C3 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 11,91 cm<sup>775</sup>.

<sup>774</sup> Inferior al BAU.  
<sup>775</sup> 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.

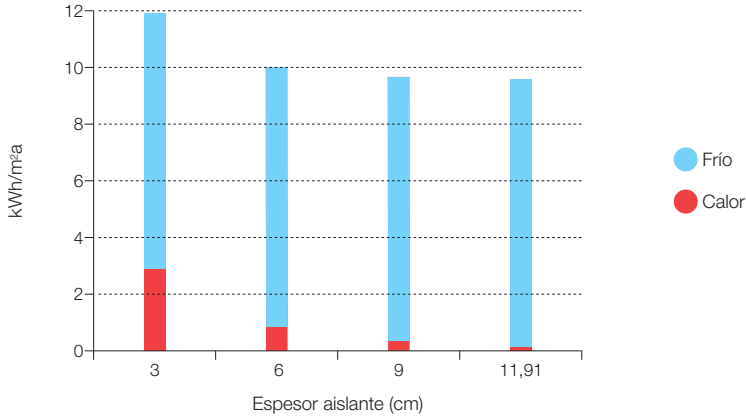


La figura 368 reproduce los resultados para Barcelona (zona C2 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 11,91 cm<sup>776</sup>.

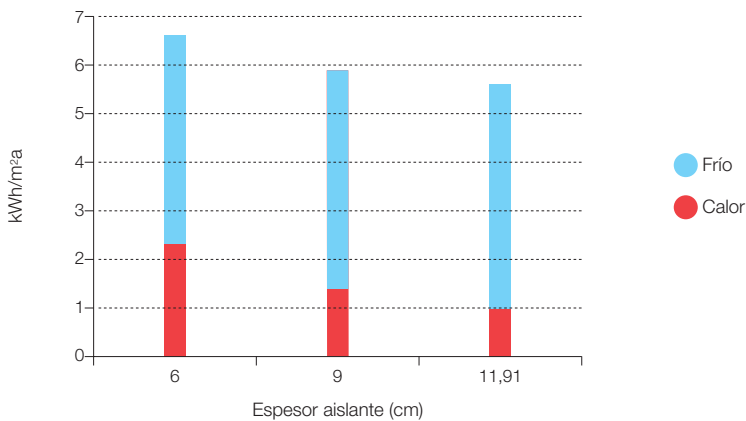
La figura 369 reproduce los resultados para Bilbao (zona C1 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 15 cm.

<sup>776</sup> 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.

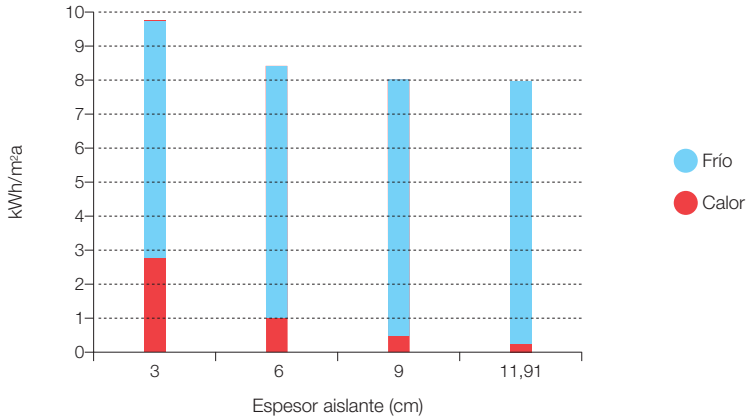


La figura 370 reproduce los resultados para Sevilla (zona B4 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 9 cm<sup>777</sup>.

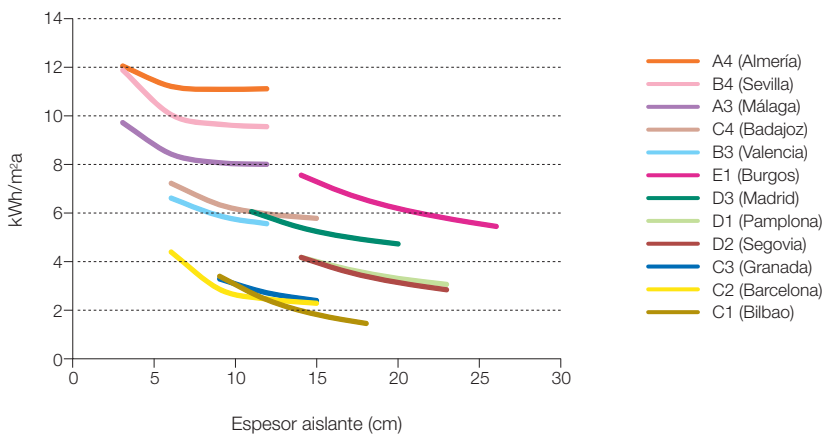
La figura 371 reproduce los resultados para Valencia (zona B3 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 9 cm<sup>778</sup>.

<sup>777</sup> Inferior al BAU.  
<sup>778</sup> 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.



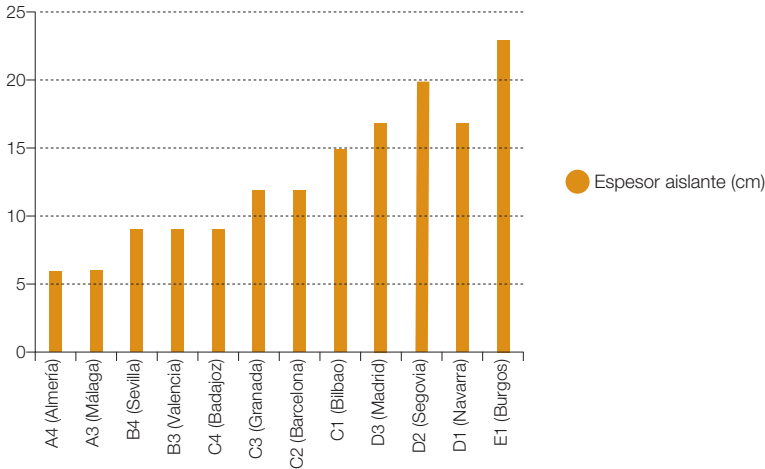
**Figura 373.** Comparativa entre los distintos niveles asintóticos de la demanda de servicios de climatización a la que nos conduce la aplicación de aislamiento ( $k = 0,04$  W/mK) en el suelo (con valores óptimos de aislamiento en pared y cubierta).



La figura 372- reproduce los resultados para Málaga (zona A3 del CTE). El espesor óptimo elegido es de 6 cm<sup>779</sup>.

En la figura 373 recogemos los resultados de los distintos estudios paramétricos para poder observar de forma comparativa entre distintos

**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.

### 3.7.7.1.5 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 consumo<sup>780</sup> de energía final<sup>781</sup> para los emplazamientos climáticos de Almería y Burgos<sup>782</sup>. 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 consumos 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.

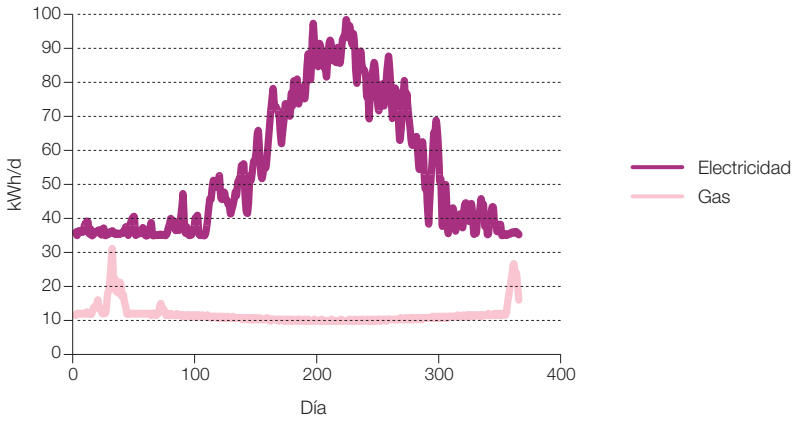


Figura 376. Evolución diaria del consumo de energía final para Almería en el contexto E3.0.

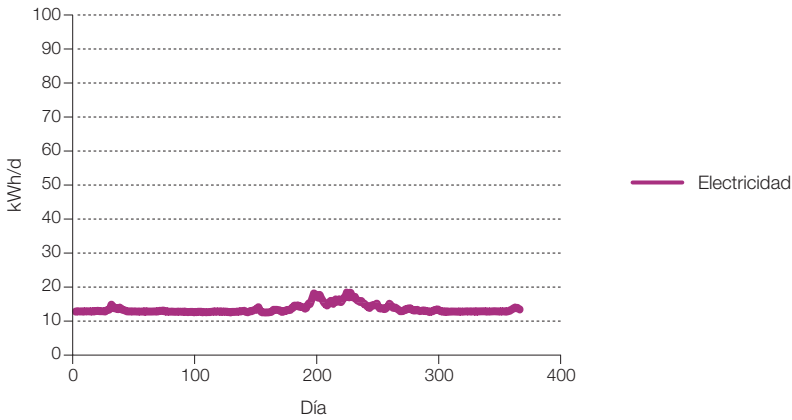




Figura 377. Evolución diaria del consumo de energía final para Burgos en el contexto BAU.

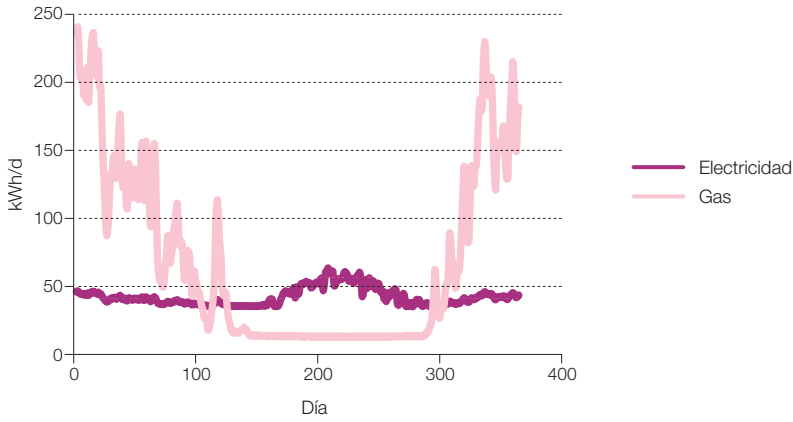
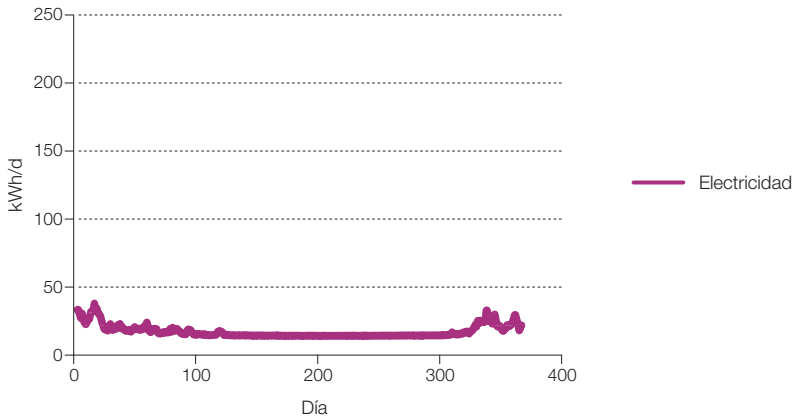


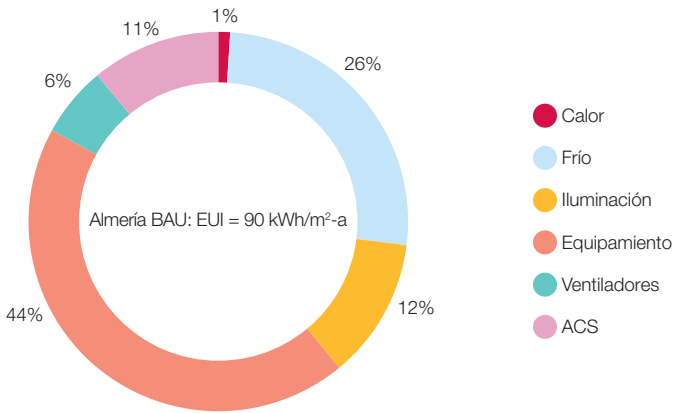
Figura 378. Evolución diaria del consumo de energía final para Burgos en el contexto E3.0.



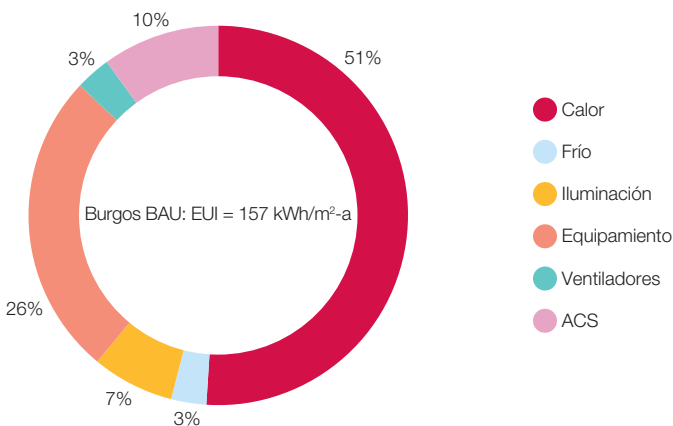
En las figuras 379 a 382 recogemos la estructura del consumo de energía final<sup>783</sup> en los dos emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos<sup>784</sup>. Como pode-

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.



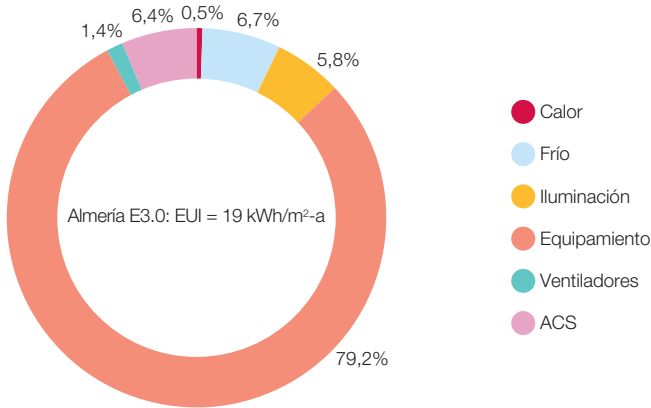
**Figura 380.** Estructura de la demanda de energía final para la vivienda unifamiliar en Burgos y el contexto BAU.



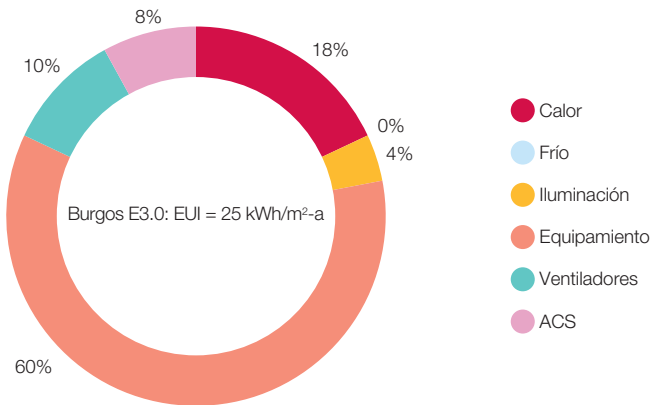
**783** La EUI (Energy Use Intensity) que aparece en estos gráficos es el consumo total de energía final en términos específicos, descontando el aporte autónomo de la solar térmica para la cobertura parcial del ACS.

**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

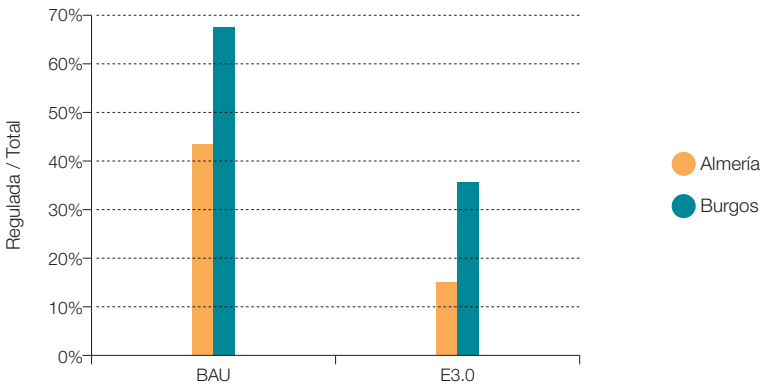
pasar al contexto E3.0 este porcentaje se reduce hasta valores del orden del 15%-30%, quedando fuera del alcance de la regulación la mayoría del consumo energético del edificio. Por este motivo resulta recomendable que se emplee como indicador del desempeño energético del edificio su consumo total

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.

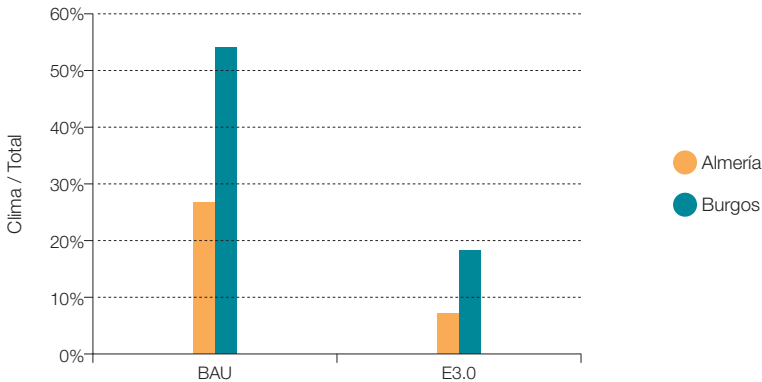
En el caso de analizar el ratio entre energía para climatizar respecto a total, la figura 384 nos muestra cómo se llega a reducir esta componente de la demanda en el contexto E3.0.

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%.

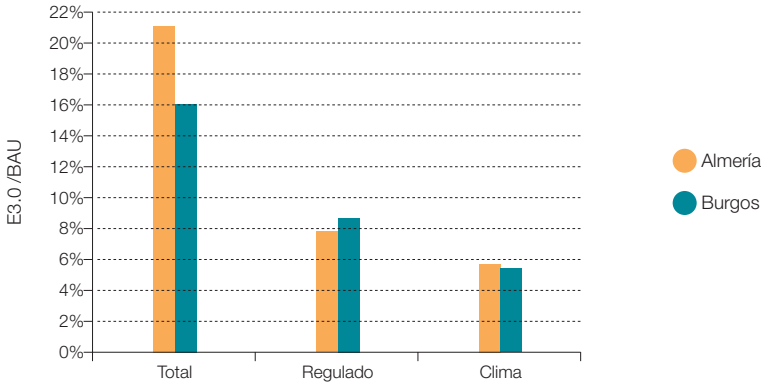
**Figura 383.** Fracción de consumo de energía regulado respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Vivienda unifamiliar.



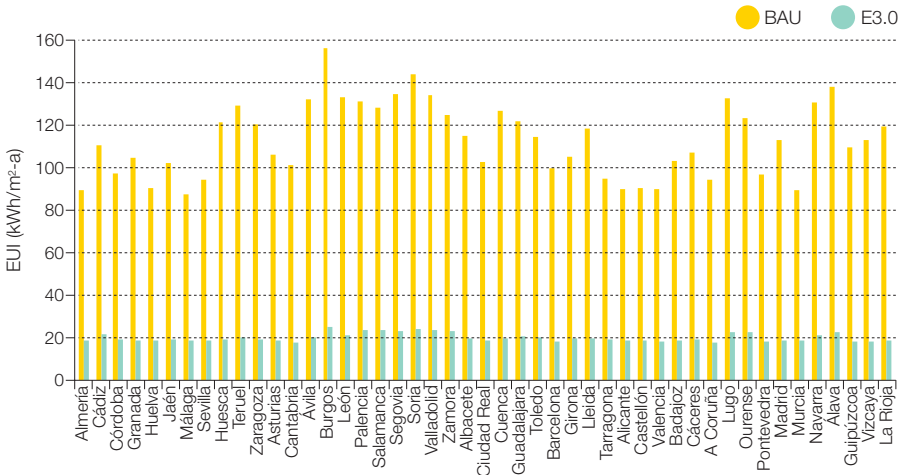
**Figura 384.** Fracción de consumo de energía para climatización respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Vivienda unifamiliar.



**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.

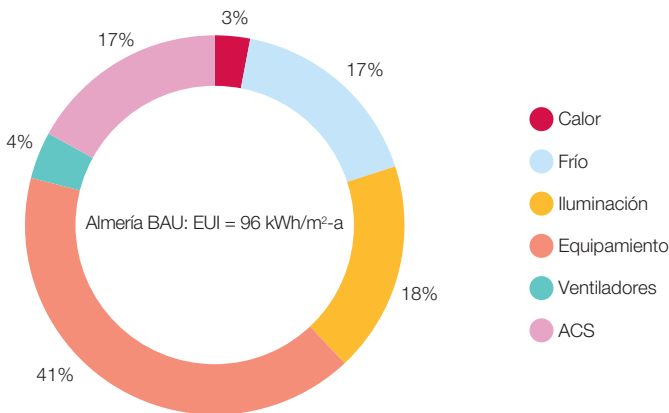
### 3.7.7.1.2 Residencial bloque

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,

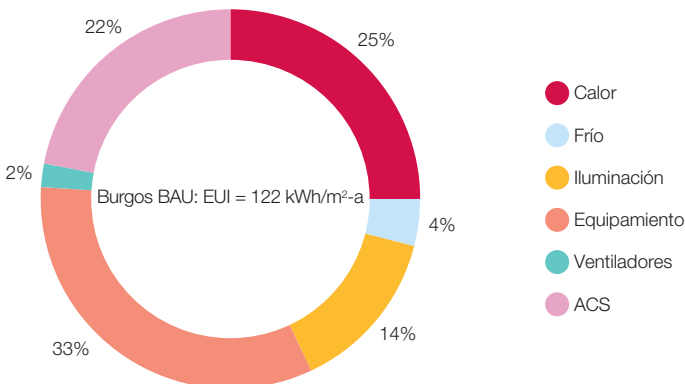
para caracterizar los niveles óptimos de aislamiento de la envolvente del edificio, empleando para todos<sup>785</sup> los modos de edificio en el contexto E3.0 los valores de aislamiento seleccionados en los estudios paramétricos del edificio residencial unifamiliar.

En las figuras 387 y 388 mostramos la estructura de la demanda final de energía<sup>786</sup> 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.

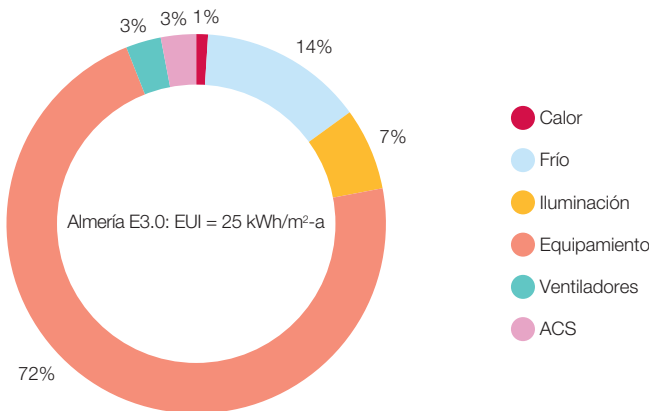
**786** Descontando la aportación solar térmica autónoma.

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.

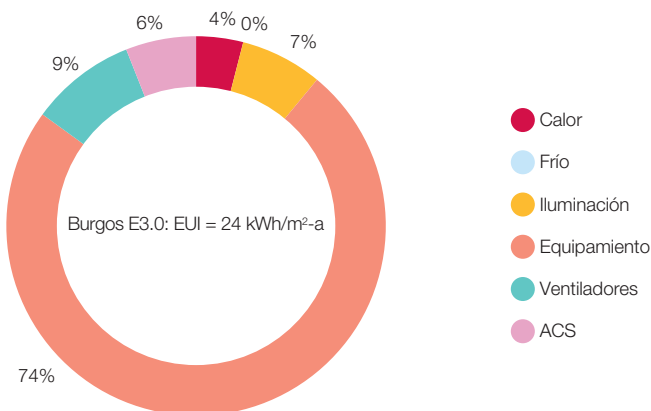
El primer aspecto que salta a la vista al pasar al contexto E3.0 es la estructura tipo “jarro de

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, pasando<sup>787</sup> 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.



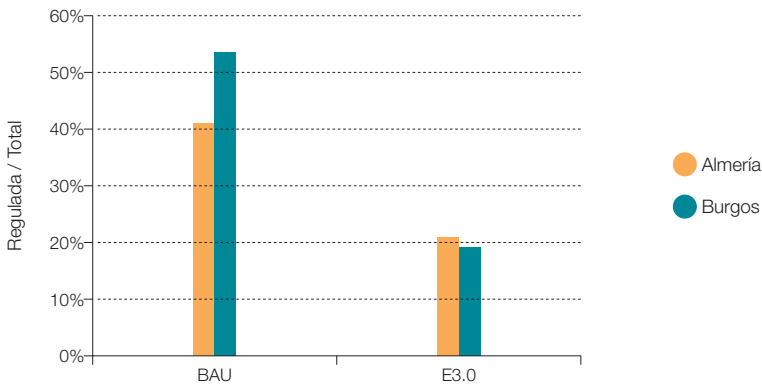
**787** Consecuencia de una mayor efectividad de las medidas pasivas destinadas a reducir la demanda de calefacción que las asociadas a la reducción de la demanda de refrigeración.

demanda en contexto E3.0, aunque la diferencia en contexto E3.0 entre ambos emplazamientos es realmente pequeña.

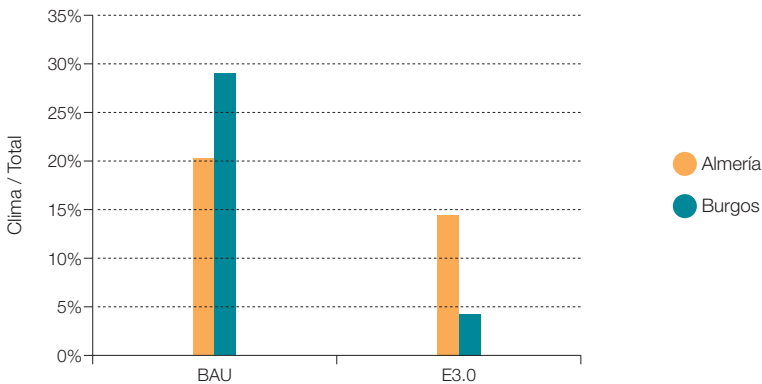
En la figura 391 presentamos el ratio entre energía regulada y energía total, y su evolución al pasar del contexto BAU al E3.0 en estos dos emplazamientos climáticos. Como podemos observar, si incluso en el contexto

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.



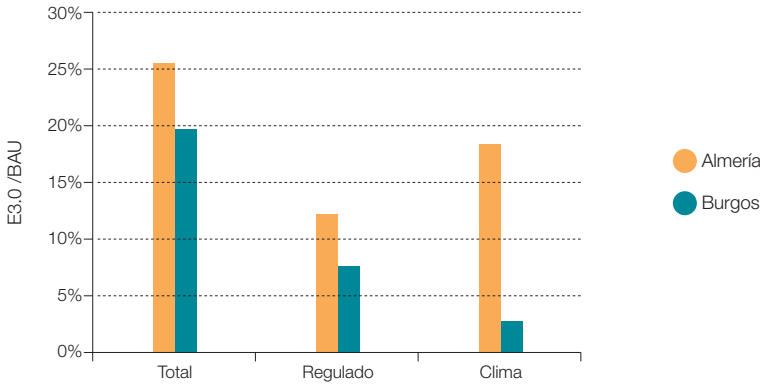


queremos que esa regulación sirva para reducir el sector de la edificación hacia mayores niveles de eficiencia.

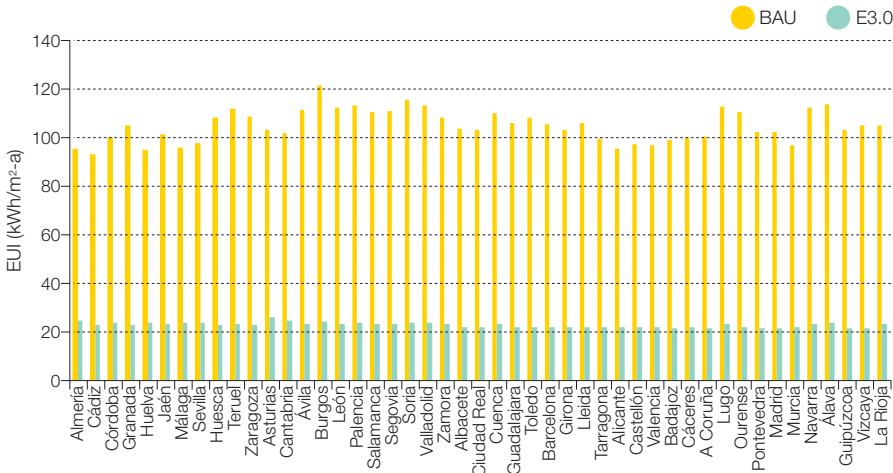
En el caso de analizar el ratio entre energía para climatizar respecto a la total, la figura 392 nos muestra cómo se llega a reducir

esta componente de la demanda en el 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 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 invierno<sup>788</sup>, a obtener niveles de ahorro en las demandas de energía regulada y de climatización del orden del 95%.

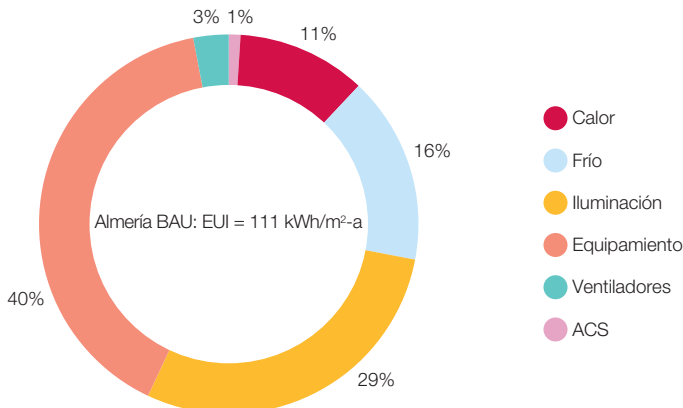
Finalmente, por lo que respecta a la distribución provincial del consumo total de energía

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 energía<sup>789</sup> 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.

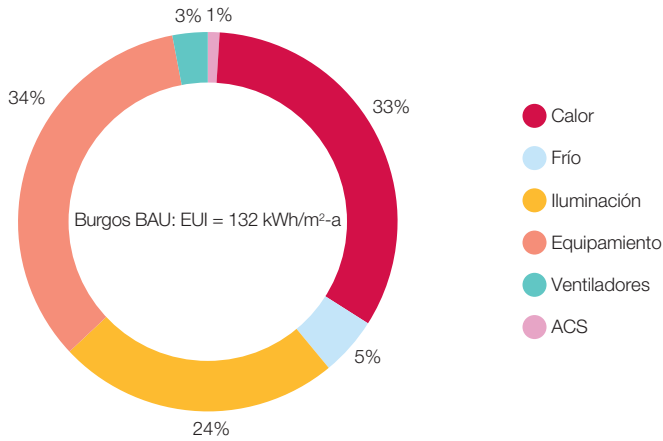
**Figura 395.** Estructura de la demanda de energía final para la oficina en Almería y el contexto BAU.



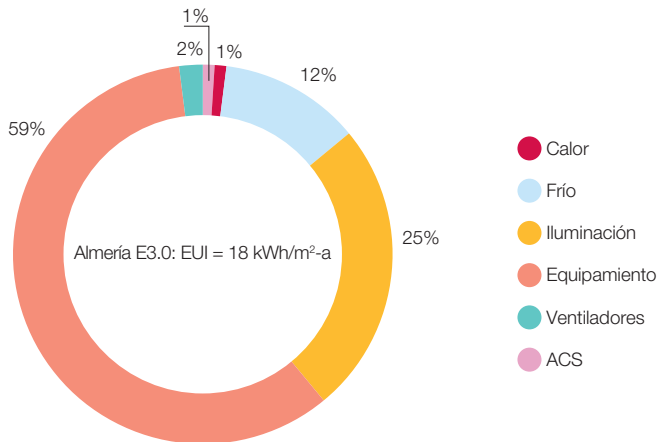
<sup>788</sup> Que son aquellos que en la actualidad consumen más energía y para los cuales la regulación actual permite unos mayores niveles de consumo.

<sup>789</sup> Descontando la aportación solar térmica local.

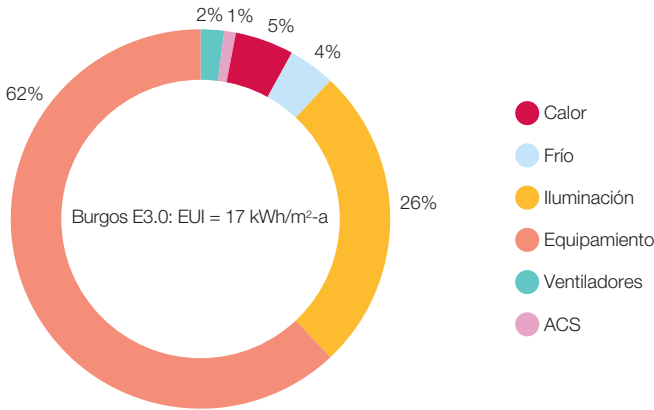
**Figura 396.** Estructura de la demanda de energía final para la oficina en Burgos y el contexto BAU.



**Figura 397.** Estructura de la demanda de energía final para la oficina en Almería y el contexto E3.0.



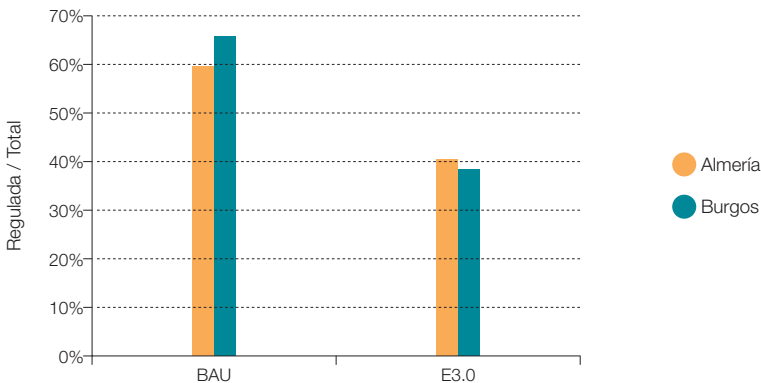
**Figura 398.** Estructura de la demanda de energía final para la oficina en Burgos y el contexto E3.0.



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.

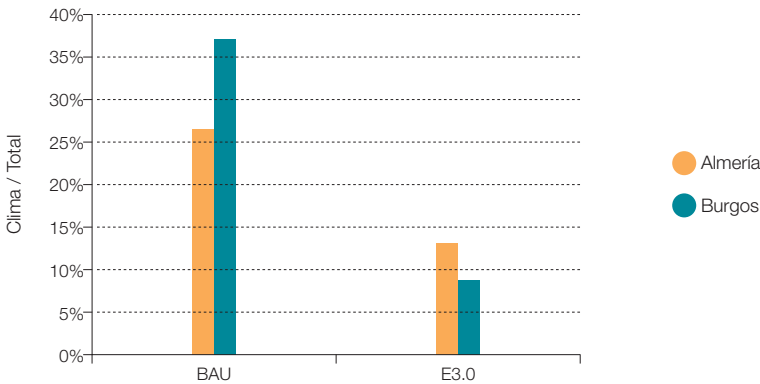


En el caso de analizar el ratio entre energía para climatizar respecto a total, la figura 400 nos muestra cómo se llega a reducir este componente de la demanda en el contexto E3.0, especialmente en los emplazamientos de elevada severidad climática de invierno. En efecto, en estos emplazamientos el consumo 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.

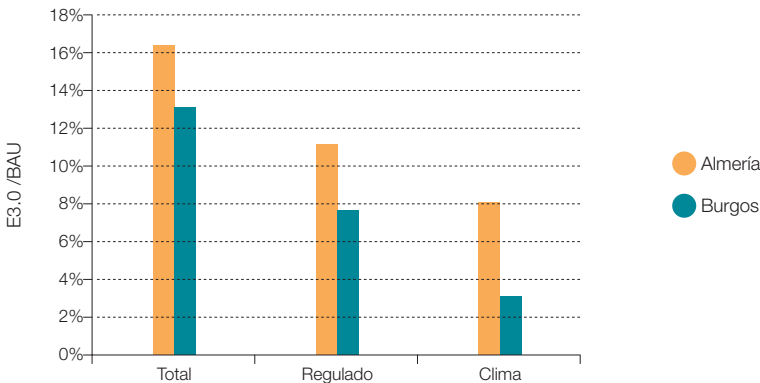
A ello contribuyen, por un lado, la gran reducción de la demanda del edificio, y por otro lado a la gran eficiencia de las bombas de calor para cubrir esa demanda residual.

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 invierno<sup>790</sup>, 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.

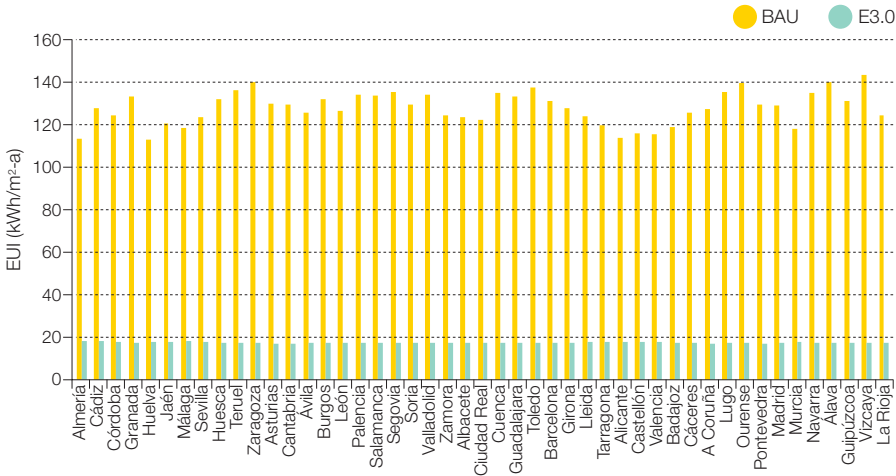
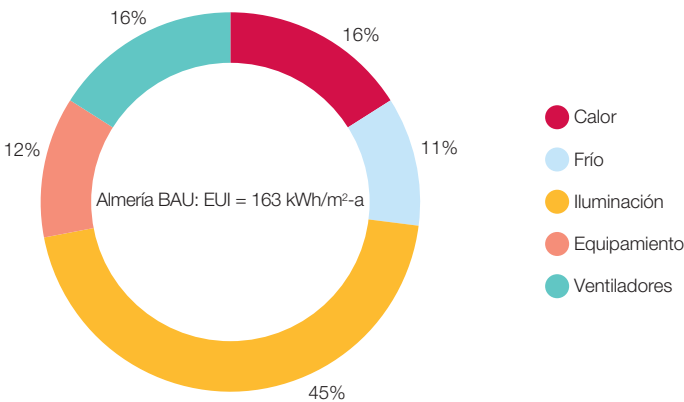


Figura 403. Estructura de la demanda de energía final para el comercio en Almería en contexto BAU.



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.

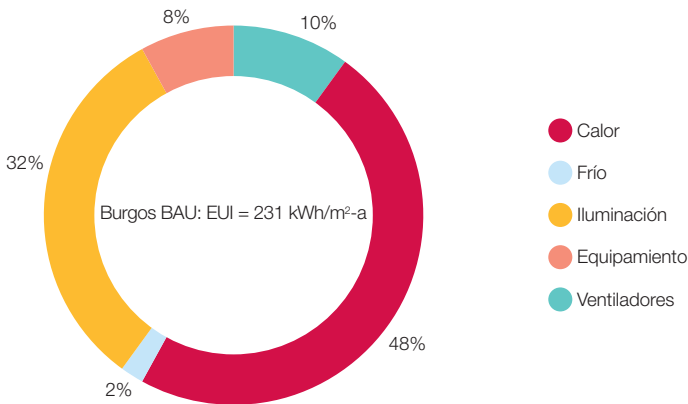
#### 3.7.7.1.4 Comercio

En las figuras 403 y 404 mostramos la estructura de la demanda final de energía<sup>791</sup> en los emplazamientos climáticos extremos de

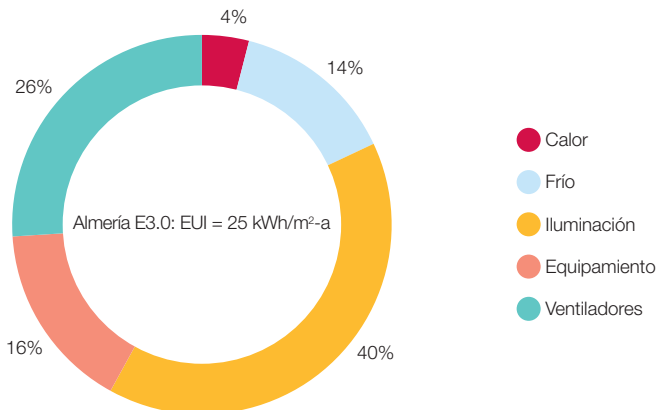
Almería y Burgos para el contexto BAU, mientras que las figuras 405 y 406 nos muestran las correspondientes demandas de energía en estos dos emplazamientos climáticos para el contexto E3.0.

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

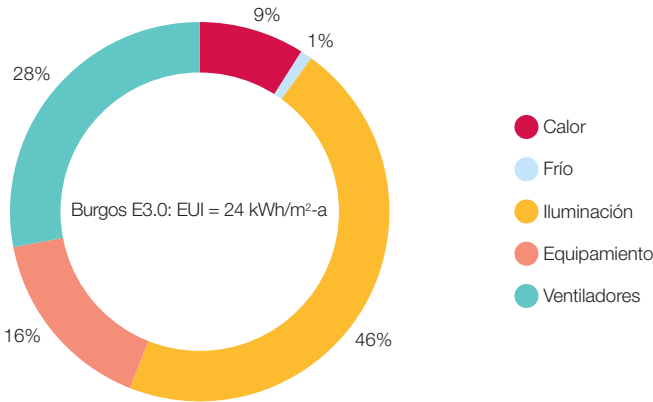
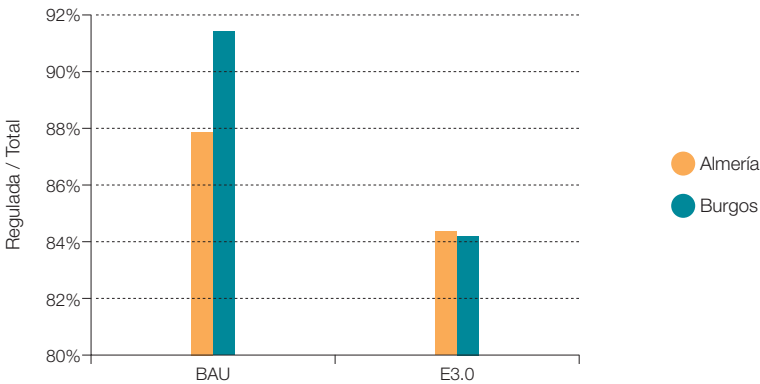
**Figura 404.** Estructura de la demanda de energía final para el comercio en Burgos en contexto BAU.



**Figura 405.** Estructura de la demanda de energía final para el comercio en Almería en contexto E3.0.



<sup>791</sup> 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.

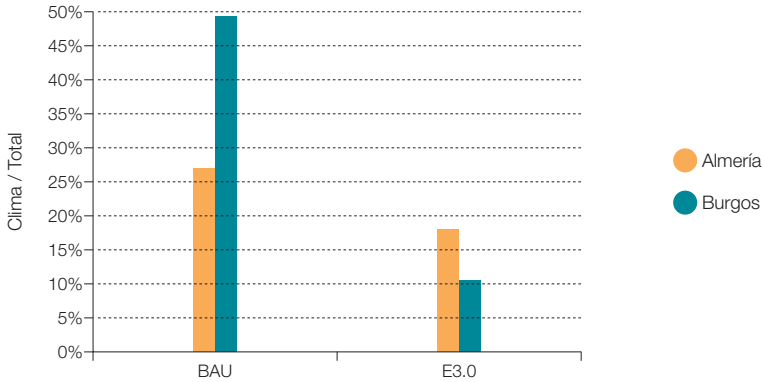
caso de los edificios terciarios, la parte regulada incluye la energía para iluminación. En este caso, la parte regulada representa la mayoría del consumo total debido al gran peso de la iluminación, sin embargo, en el contexto E3.0 se queda en el orden del 84%, lo cual sigue haciendo recomendable tomar 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.

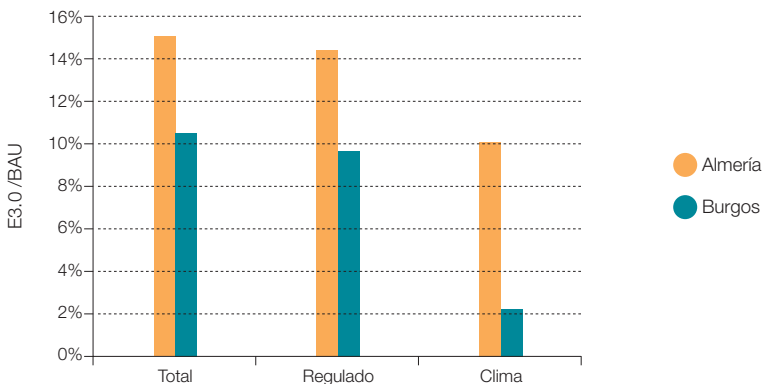


Por lo que respecta al incremento de eficiencia al pasar del contexto BAU al E3.0, en la figura 409 podemos observar cómo en términos de energía total los ahorros alcanzados llegan a ser del orden del 88%, que se incrementan al considerar los ahorros en términos de energía regulada o de climatización, y llegan, para el caso de emplazamientos de elevada severidad climática de

invierno<sup>792</sup>, a obtener niveles de ahorro en las demandas de energía regulada y de climatización del orden del 98%.

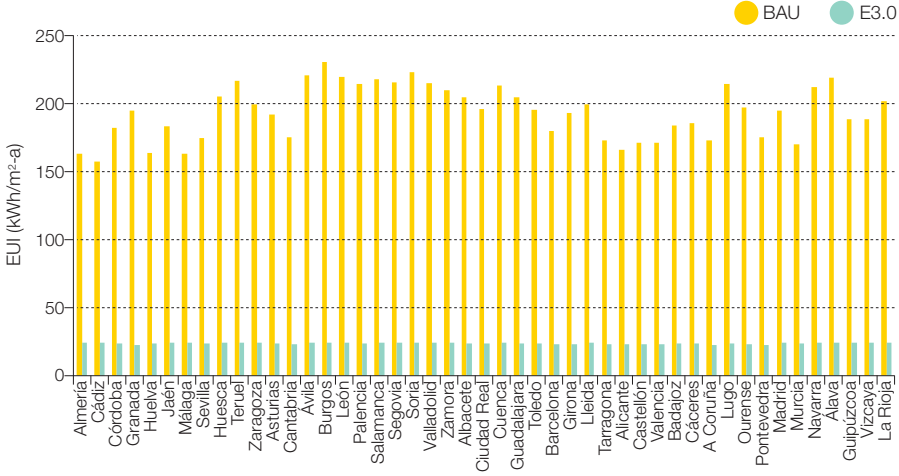
Finalmente, por lo que respecta a la distribución provincial del consumo total de energía final, tanto para el contexto BAU como para el E3.0, la figura 410 recoge los resultados correspondientes. Como podemos observar,

**Figura 409.** Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Comercio.



<sup>792</sup> 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.

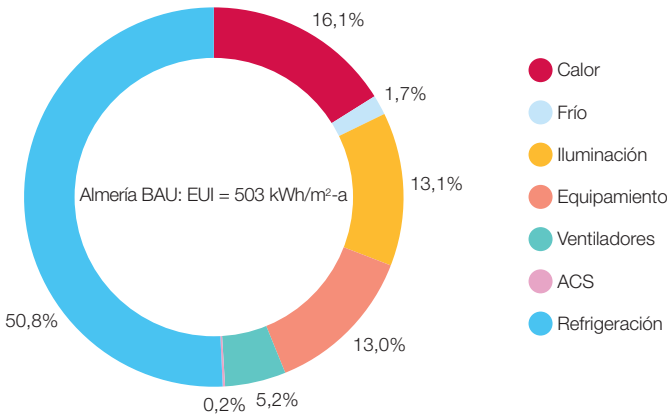


en todos los emplazamientos climáticos se alcanza un elevado nivel de ahorro, que obtiene para el contexto E3.0 una distribución muy homogénea del consumo total de energía de esta tipología de edificios.

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.



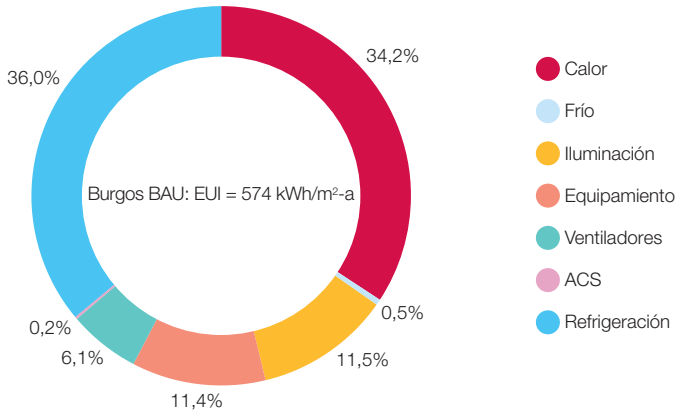
alimentos<sup>793</sup>, que a su vez repercuten sobre el consumo de climatización del edificio.

En las figuras 411 y 412 mostramos la estructura de la demanda final de energía<sup>794</sup> en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU, mientras que las figuras 413 y 414 nos

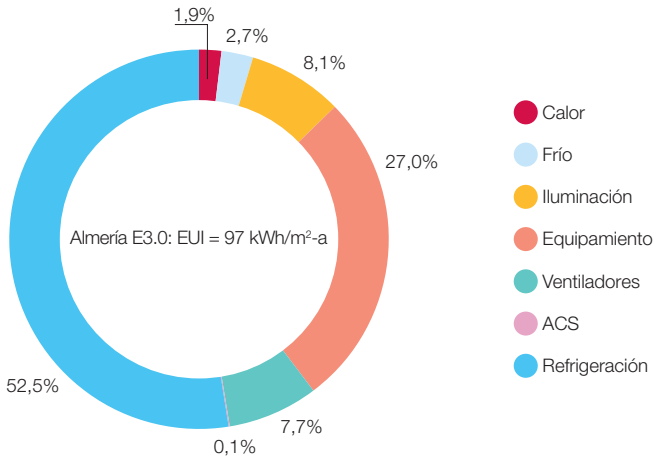
muestran las correspondientes demandas de energía en estos dos emplazamientos climáticos para el contexto E3.0.

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.



<sup>793</sup> 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.

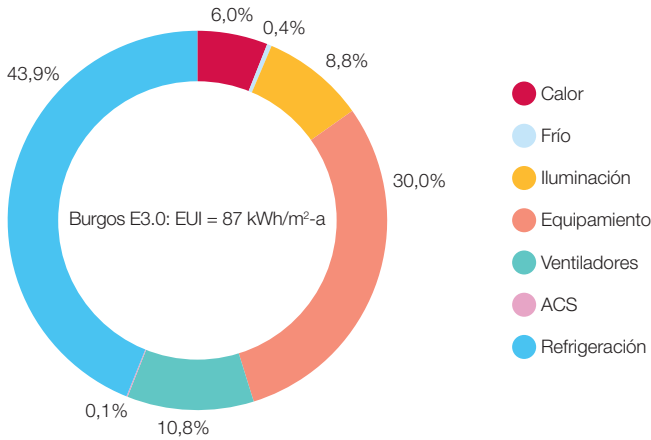
<sup>794</sup> Descontando la aportación solar térmica local.

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 dominen la estructura de la demanda energética.

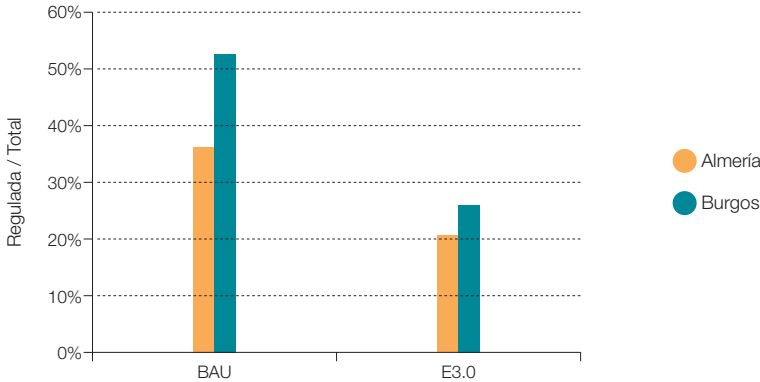
En la figura 415 presentamos el ratio entre energía regulada y energía total y su evolución

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.

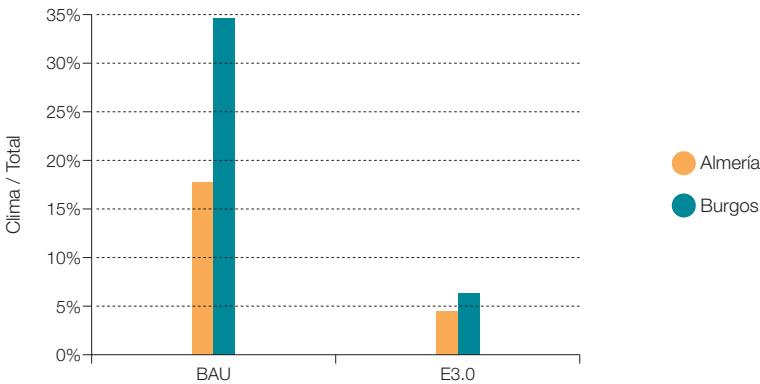


del 40%, y baja al 20% para el contexto E3.0. Esta situación hace altamente recomendable que las cargas de proceso se incluyan en la regulación, y que el indicador a manejar sea el de consumo de energía total, si se pretende que la regulación contribuya a proporcionar avances significativos en el nivel de eficiencia de estos edificios.

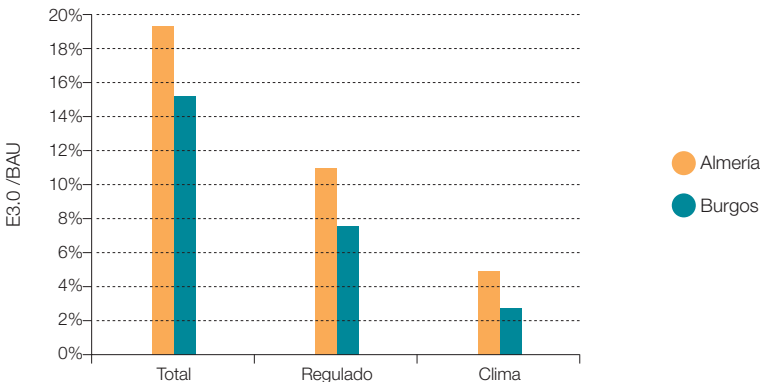
En el caso de analizar el ratio entre energía para climatizar respecto a total, la figura 416

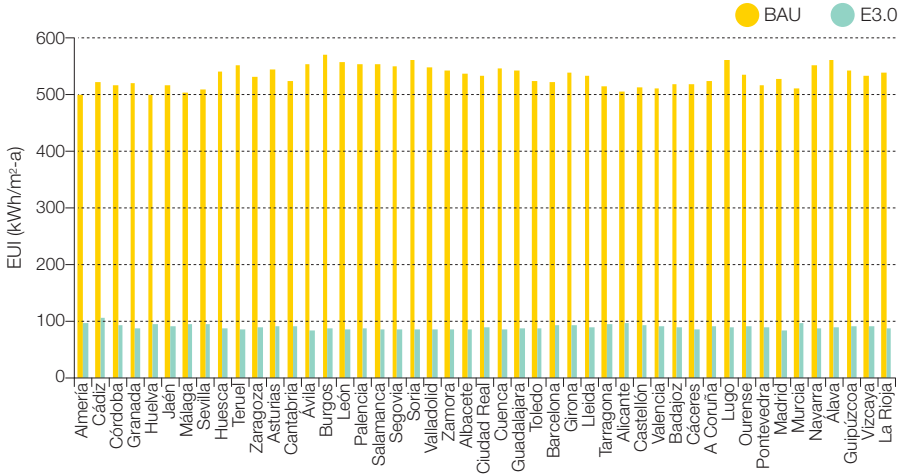
nos muestra cómo se llega a reducir esta componente de la demanda en el contexto E3.0. En efecto, el consumo de energía para climatizar pasa de ser una de las componentes más importantes de la demanda en el contexto BAU a ser la componente menos importante. A ello contribuyen por un lado la gran reducción 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 invierno<sup>795</sup>, 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

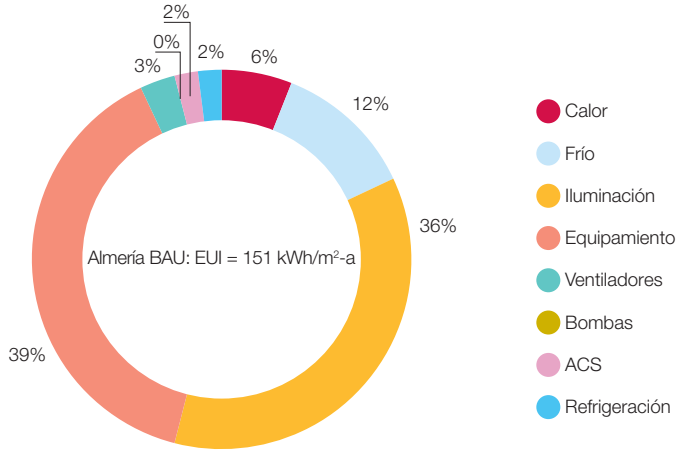
En las figuras 419 y 420 mostramos la estructura de la demanda final de energía<sup>796</sup> en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU, mientras que las figuras 421 y 422 nos muestran las correspondientes demandas de energía en estos dos emplazamientos climáticos 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.

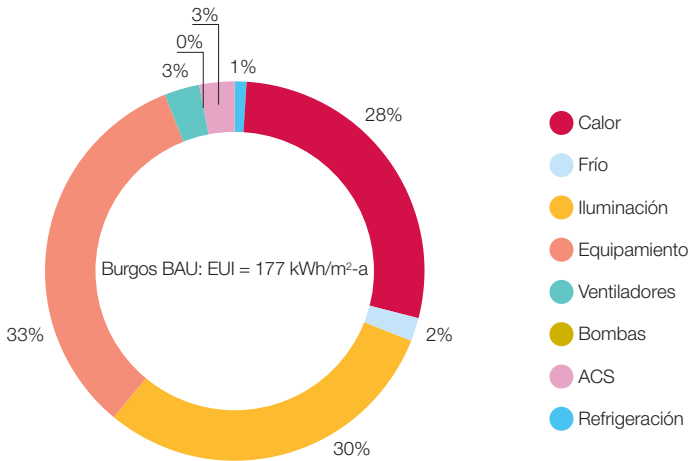
<sup>795</sup> Que son aquellos que en la actualidad consumen más energía y para los cuales la regulación actual permite unos mayores niveles de consumo.

<sup>796</sup> Descontando la aportación solar térmica local.

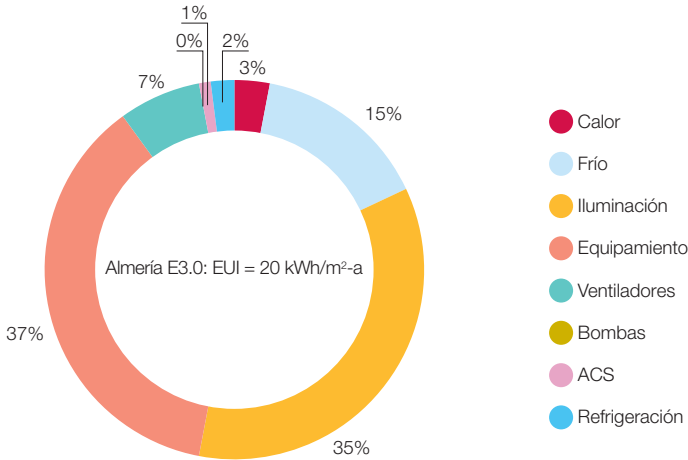
**Figura 419.** Estructura de la demanda de energía final para el centro educativo en Almería en contexto BAU.



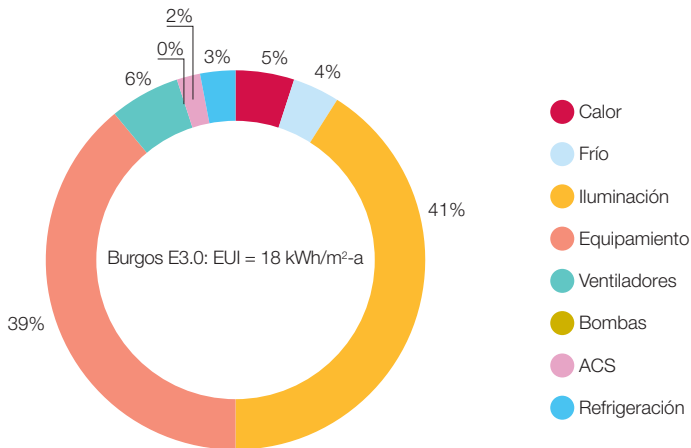
**Figura 420.** Estructura de la demanda de energía final para el centro educativo en Burgos en contexto BAU.



**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.

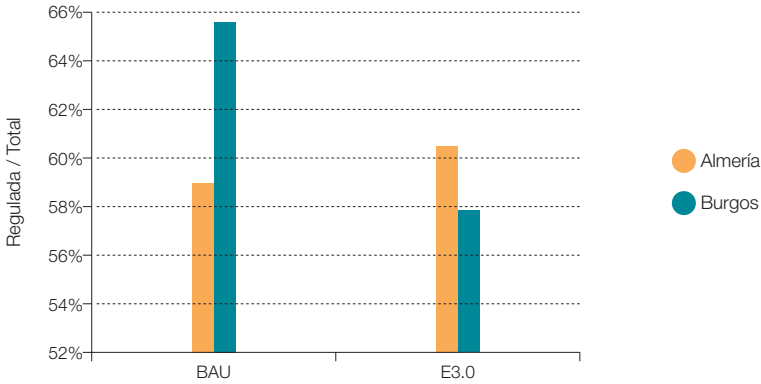


En la figura 423 presentamos el ratio entre energía regulada y energía total y su evolución al pasar del contexto BAU al E3.0 en estos dos emplazamientos climáticos. En el caso de los edificios terciarios, la parte regulada incluye la energía para iluminación. La parte del consumo energético que queda fuera del al-

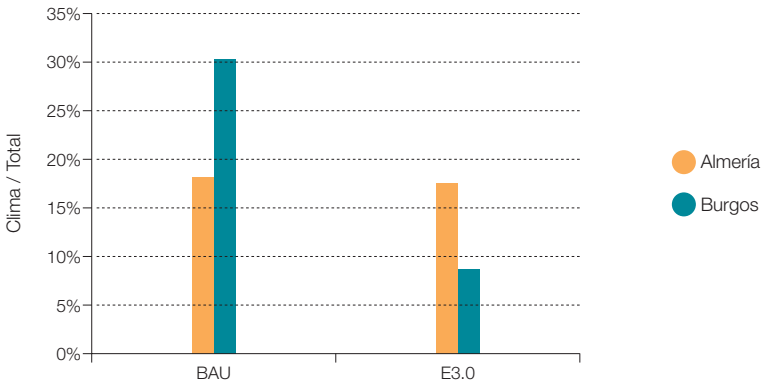
cance de la regulación es significativa, y se acentúa en el contexto E3.0 en el que alcanza valores del orden del 40%. Resulta por tanto apropiado incorporar todos los consumos dentro del alcance de la regulación y emplear como indicador de desempeño del edificio el consumo de energía total final.



**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.

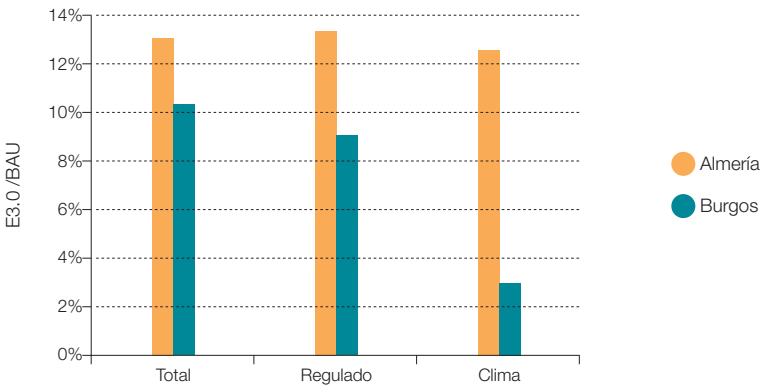
Por lo que respecta al incremento de eficiencia al pasar del contexto BAU al E3.0, en la figura 425 podemos observar cómo en términos de energía total los ahorros alcanzados llegan a

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 invierno<sup>797</sup>, 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

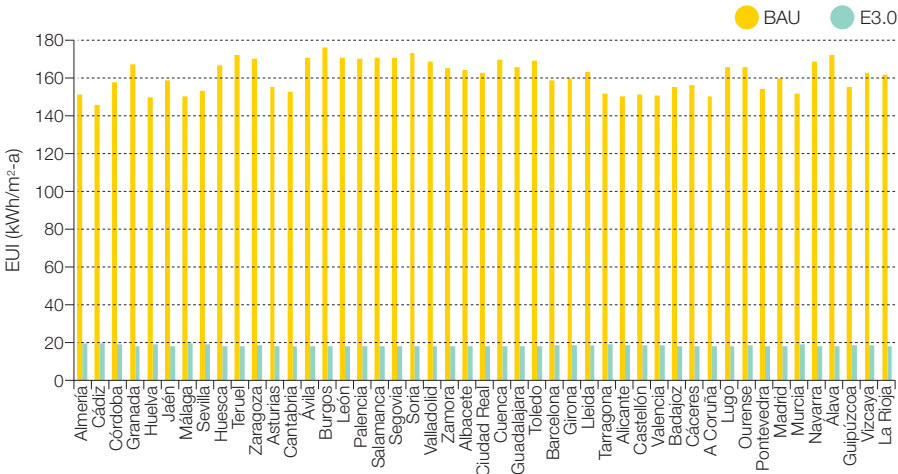
introducidas no consiguen reducir el peso relativo de la demanda de climatización, dominada en este caso por los requerimientos de frío, motivo por el que el orden de magnitud de la reducción total, regulada y de clima, al pasar del BAU al E3.0 son parecidos.

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

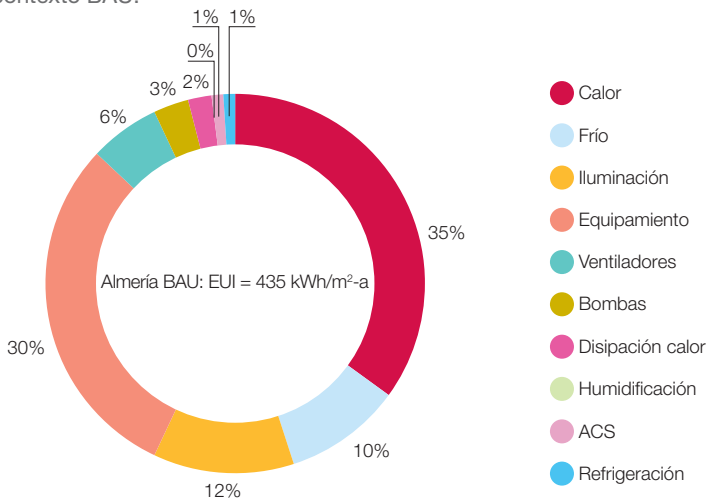
En las figuras 427 y 428 mostramos la estructura de la demanda final de energía<sup>798</sup> en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU, mientras que las figuras 429 y 430 nos muestran las correspondientes demandas de energía en estos dos emplazamientos climáticos 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 diseño<sup>799</sup>, cabe esperar que exista un amplio margen de mejora<sup>800</sup>. 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.



<sup>798</sup> Descontando la aportación solar térmica local.

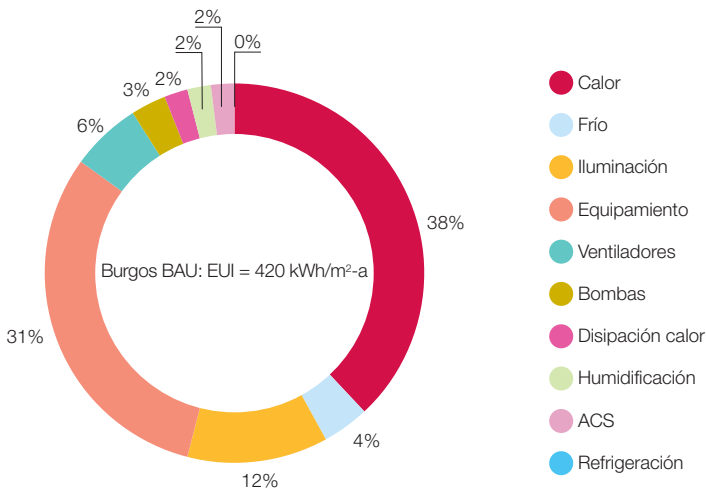
<sup>799</sup> Probablemente incluso menos que en otros tipos de equipamiento.

<sup>800</sup> 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.

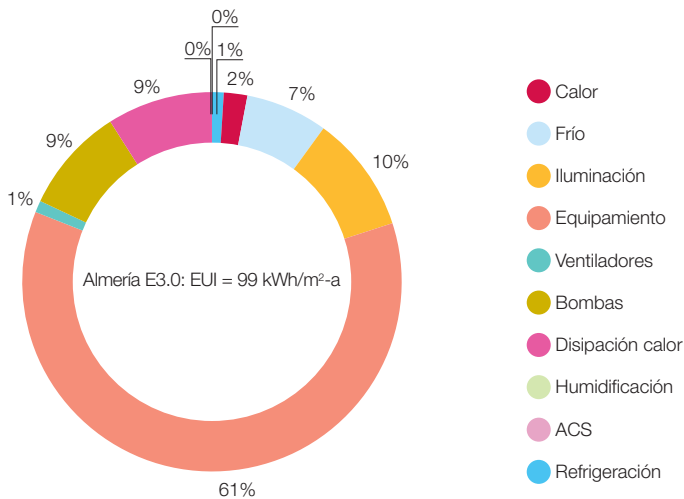
a los de otros edificios (pero algo inferiores), mientras que en las áreas críticas del hospital los ratios de mejora de la eficiencia del equipamiento que hemos introducido son mucho más conservadores<sup>801</sup>.

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.



<sup>801</sup> Consideramos que sería preciso desarrollar un estudio específico sobre este tipo de equipamientos para afinar más en su potencial de mejora.

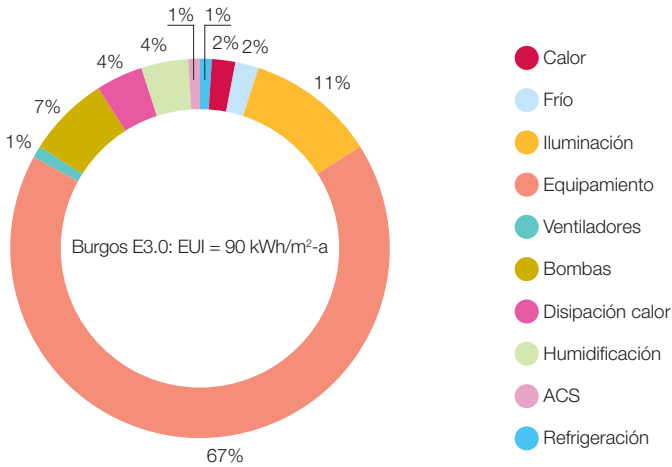
no reflejado en estos resultados, pues por limitaciones de tiempo no se han introducido medidas de eficiencia adicionales en el contexto E3.0 respecto a las ya implementadas para el contexto BAU.

Estos dos aspectos conservadores del análisis, hacen que en los hospitales consideremos que existe un margen de mejora

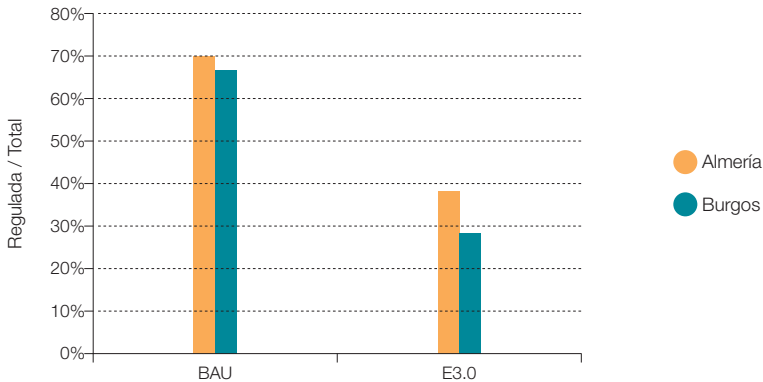
adicional al correspondiente a los resultados aquí presentados.

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.



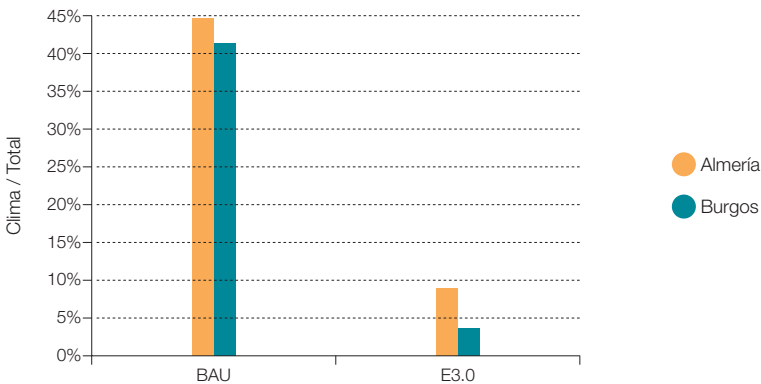
**Figura 431.** Fracción de consumo de energía regulado respecto al total, para los contextos BAU y E3.0. Hospital.



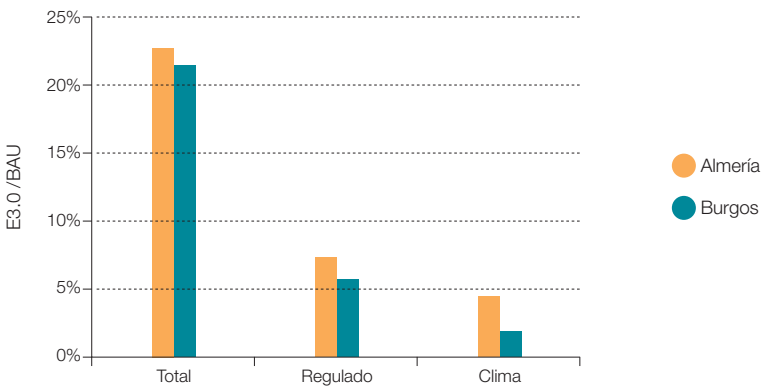
La parte del consumo energético que queda fuera del alcance de la regulación es muy importante, y se acentúa en el contexto E3.0 en que alcanza valores del orden del 70%. Resulta por tanto apropiado incorporar todos los consumos dentro del alcance de la regulación empleando como indicador de desempeño 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 invierno<sup>802</sup>, 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

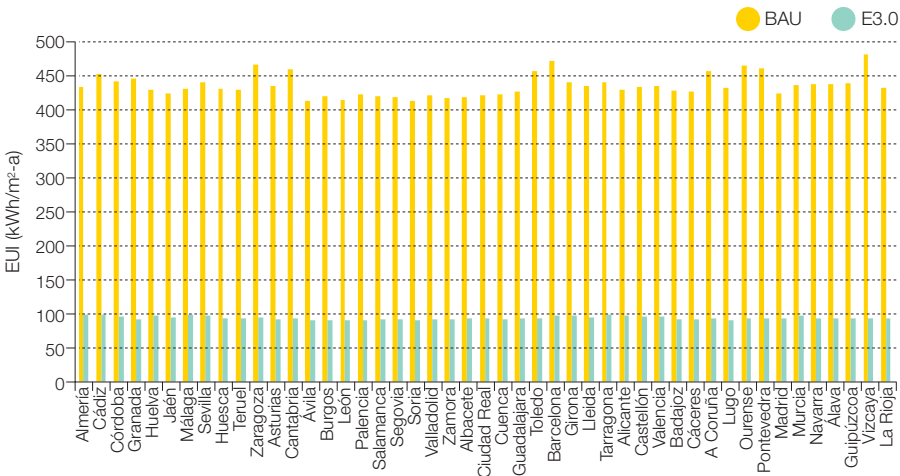
todos los emplazamientos climáticos se alcanza un elevado nivel de ahorro, y se obtiene para el contexto E3.0 una distribución muy homogénea del consumo total de energía de esta tipología de edificios.

### 3.7.7.1.8 Restaurante

En las figuras 435 y 436 mostramos la estructura de la demanda final de energía<sup>803</sup> 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.

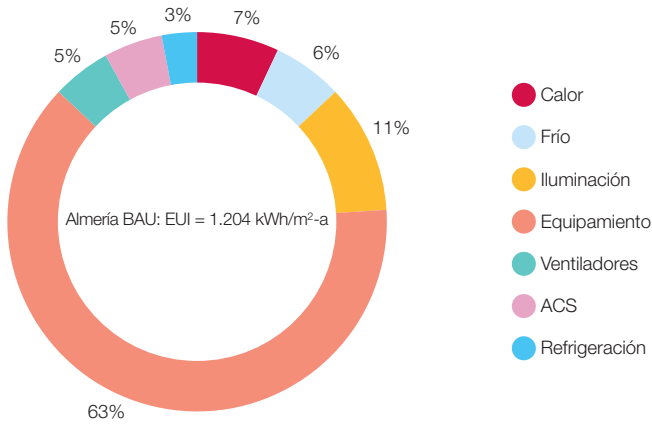


<sup>802</sup> Que son aquellos que en la actualidad consumen más energía y para los cuales la regulación actual permite unos mayores niveles de consumo.

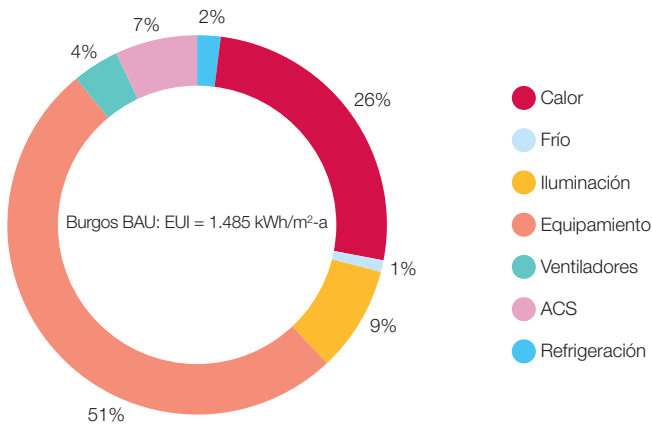
<sup>803</sup> Descontando la aportación solar térmica local.

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.

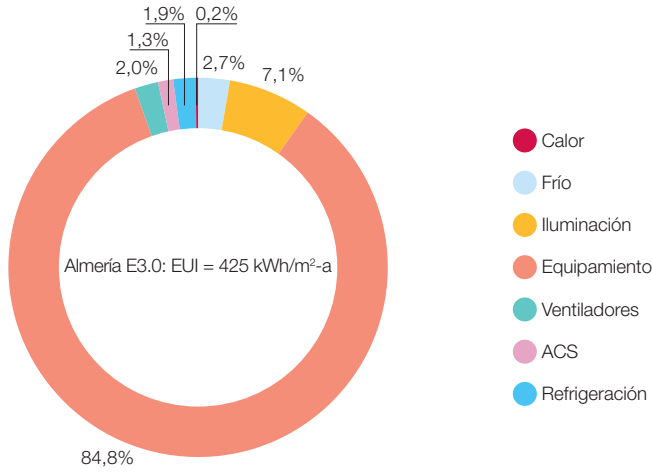


**Figura 436.** Estructura de la demanda de energía final para el restaurante en Burgos en contexto BAU.

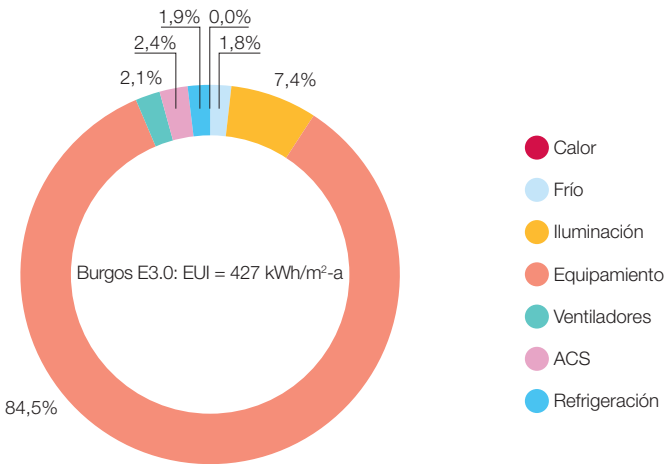




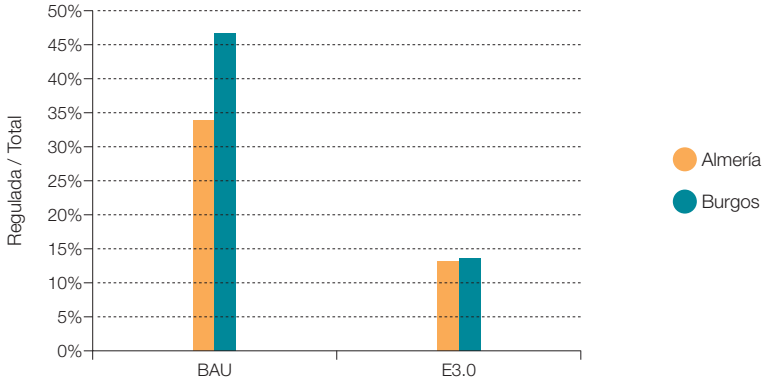
**Figura 437.** Estructura de la demanda de energía final para el restaurante en Almería en contexto E3.0.



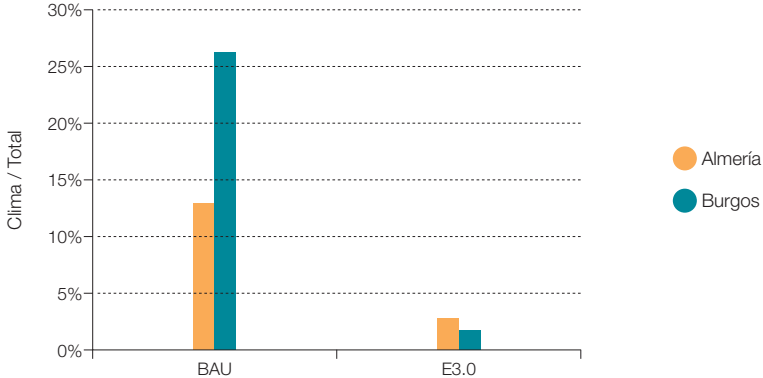
**Figura 438.** Estructura de la demanda de energía final para el restaurante en Burgos en contexto E3.0.



**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.



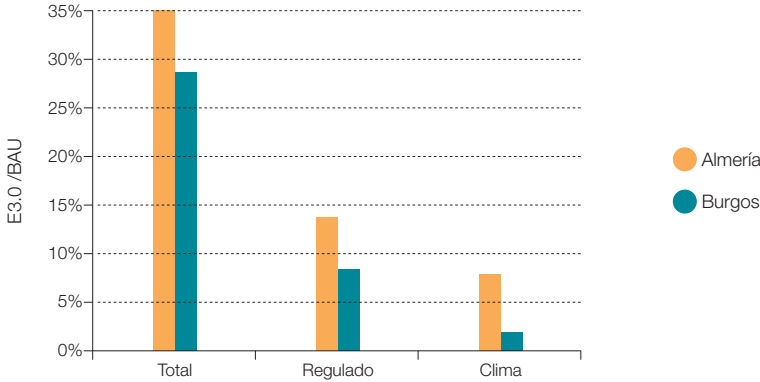
En la figura 439 presentamos el ratio entre energía regulada y energía total y su evolución al pasar del contexto BAU al E3.0 en estos dos emplazamientos climáticos. En el caso de los edificios terciarios, la parte regulada incluye la energía para iluminación. La parte del consumo energético que queda 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 BAU<sup>804</sup>, a prácticamente desaparecer en el contexto E3.0. La reducción de la demanda

<sup>804</sup> 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.

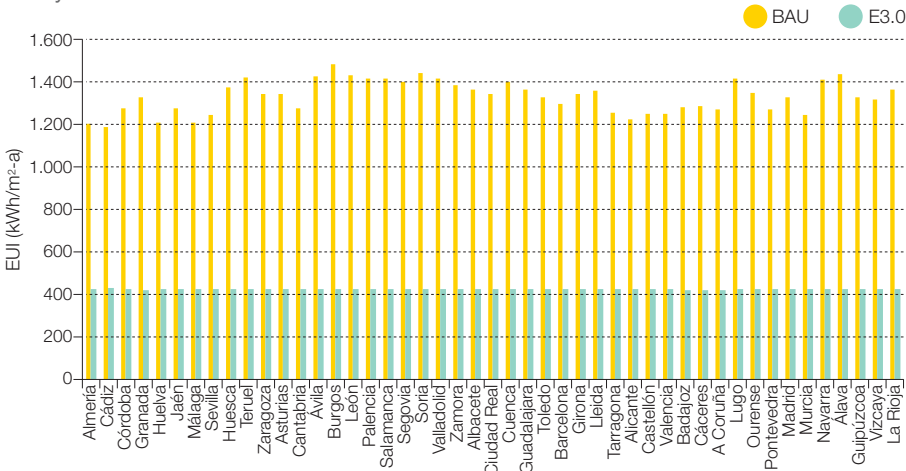


por aplicación de niveles de aislamiento adecuados, la implementación de procesos recuperativos, y la gran eficiencia de las bombas de calor para cubrir la demanda residual son los responsables de este resultado.

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%<sup>805</sup>, que se incrementan al considerar los ahorros en términos de energía regulada o de climatización, especialmente en emplazamientos de elevada severidad climática de invierno<sup>806</sup>, 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.



<sup>805</sup> 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.

<sup>806</sup> 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%.

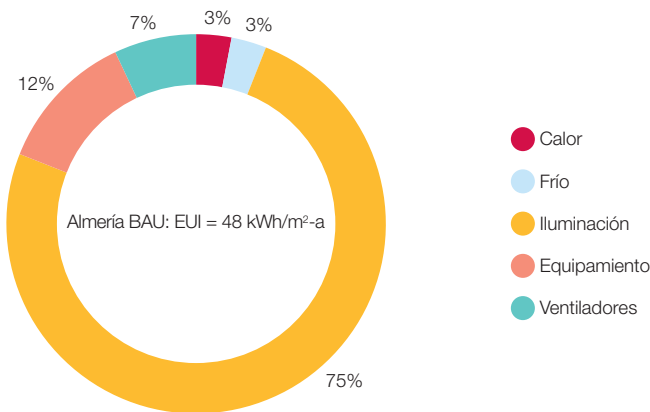
Finalmente, por lo que respecta a la distribución provincial del consumo total de energía final, tanto para el contexto BAU como para el E3.0, la figura 442 recoge los resultados correspondientes. Como podemos observar, en todos los emplazamientos climáticos se alcanza un elevado nivel de ahorro, obteniendo

para el contexto E3.0 una distribución muy homogénea del consumo total de energía de esta tipología de edificios.

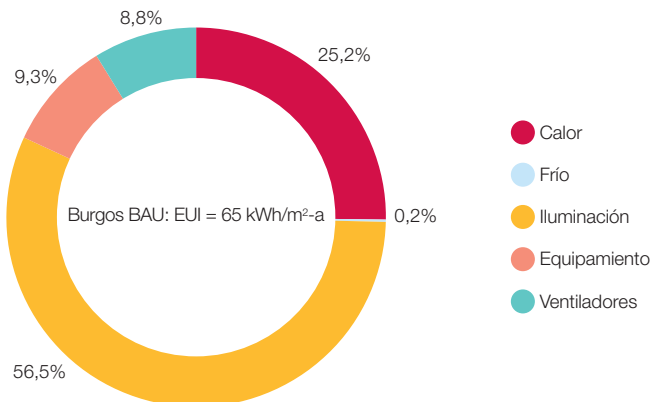
### 3.7.7.1.9 Almacén

En las figuras 443 y 444 mostramos la estructura de la demanda final de energía<sup>807</sup> en los emplazamientos climáticos extremos de

**Figura 443.** Estructura de la demanda de energía final para el almacén en Almería en contexto BAU.

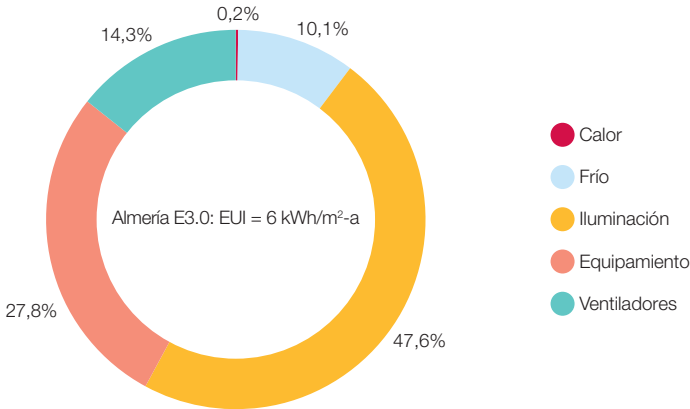


**Figura 444.** Estructura de la demanda de energía final para el almacén en Burgos en contexto BAU.

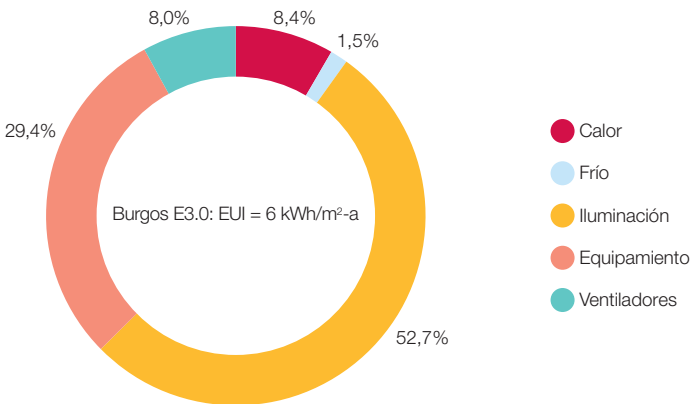


<sup>807</sup> Descartando la aportación solar térmica local.

**Figura 445.** Estructura de la demanda de energía final para el almacén en Almería en contexto E3.0.



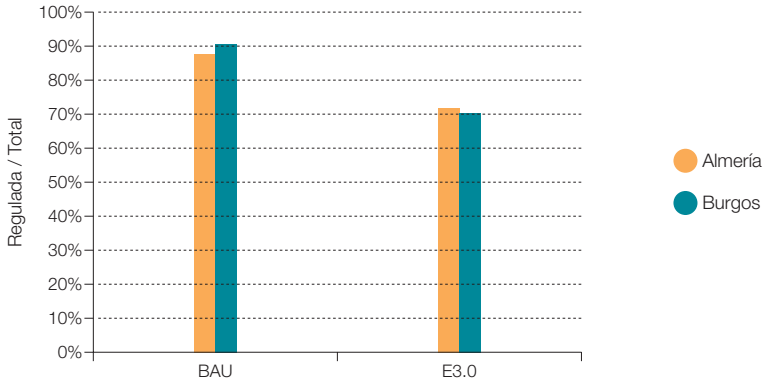
**Figura 446.** Estructura de la demanda de energía final para el almacén en Burgos en contexto E3.0.



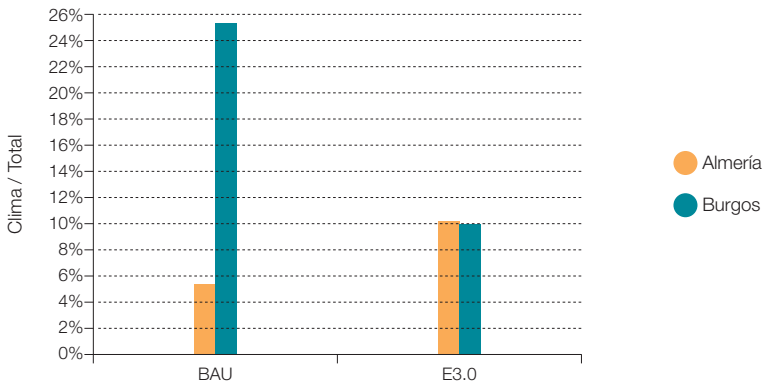
Almería y Burgos para el contexto BAU, mientras que las figuras 445 y 446 nos muestran las correspondientes demandas de energía en estos dos emplazamientos climáticos para el contexto E3.0.

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.

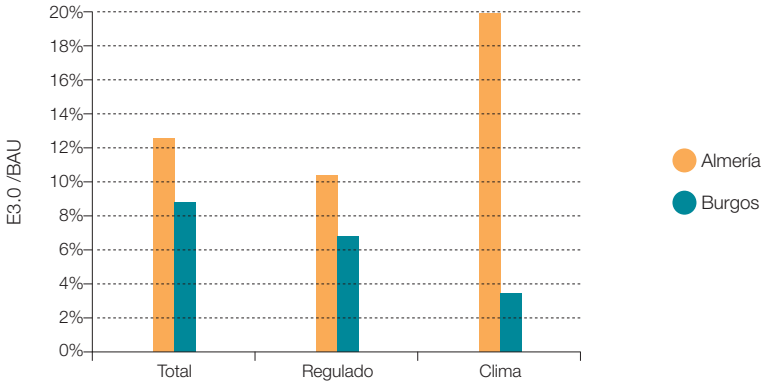
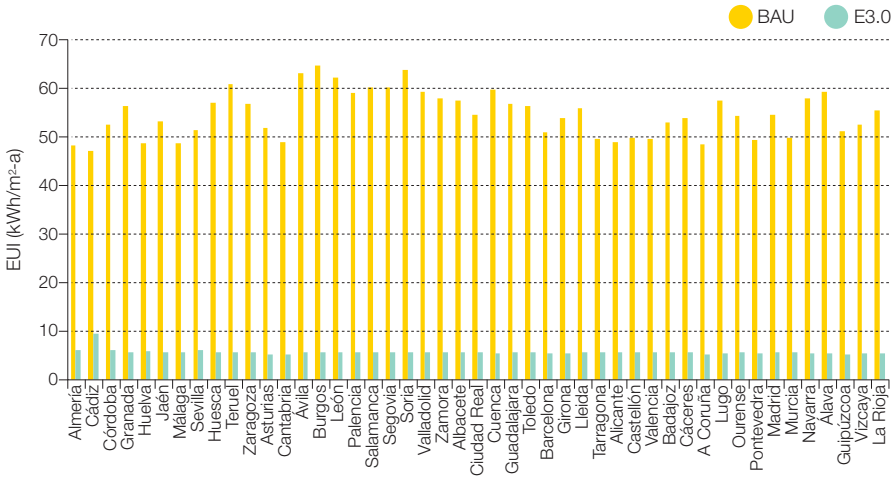


En la figura 447 presentamos el ratio entre energía regulada y energía total y su evolución al pasar del contexto BAU al E3.0 en estos dos emplazamientos climáticos. En el caso de los edificios terciarios, la parte regulada incluye la energía para iluminación. Dada la estructura de consumos de esta tipología 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

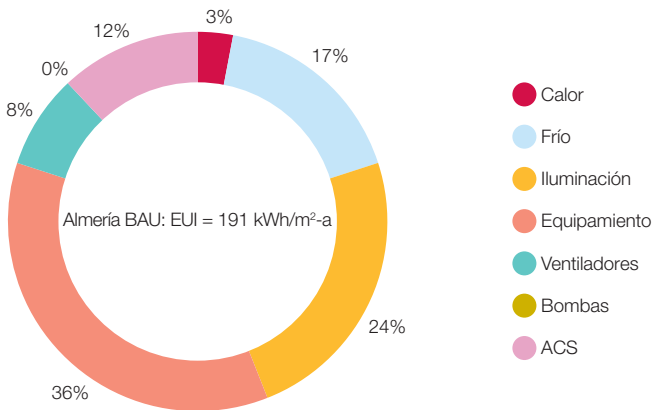
todos los emplazamientos climáticos se alcanza un elevado nivel de ahorro, que obtienen para el contexto E3.0 una distribución muy homogénea del consumo total de energía de esta tipología de edificios.

### 3.7.7.1.10 Hotel

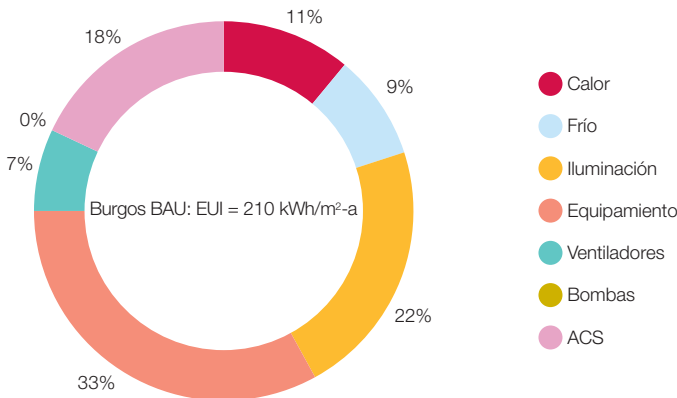
En las figuras 451 y 452 mostramos la estructura de la demanda final de energía<sup>808</sup> en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU, mientras que las figuras 453 y 454 nos muestran las correspondientes demandas de energía en estos dos emplazamientos climáticos 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 otras 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.



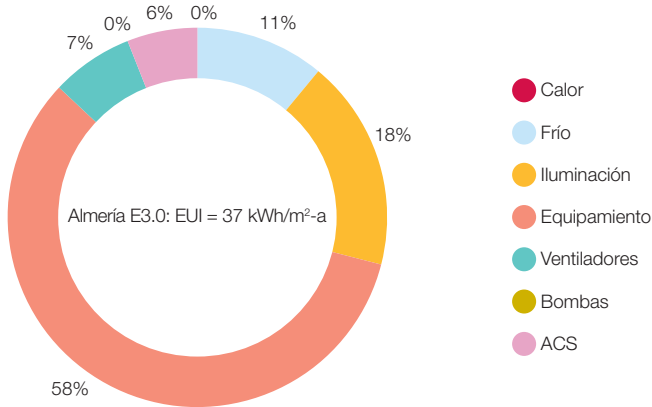
**Figura 452.** Estructura de la demanda de energía final para el hotel en Burgos en contexto BAU.



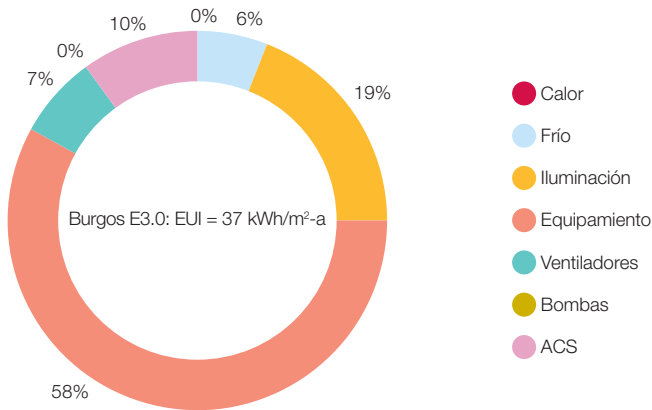
<sup>808</sup> Descontando la aportación solar térmica local.



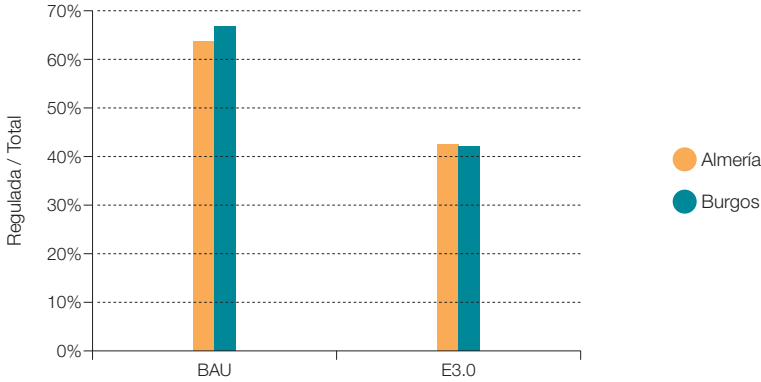
**Figura 453.** Estructura de la demanda de energía final para el hotel en Almería en contexto E3.0.



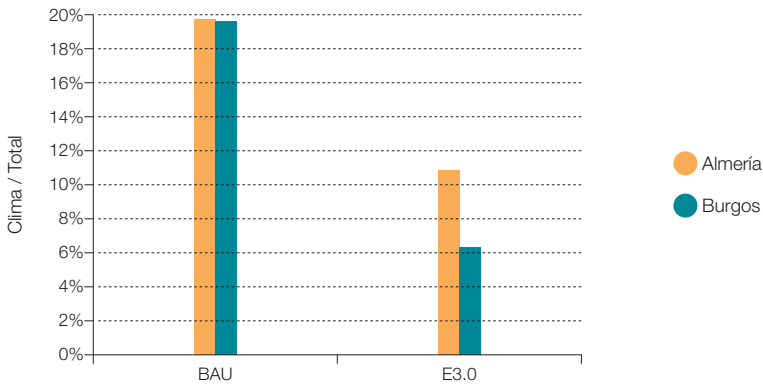
**Figura 454.** Estructura de la demanda de energía final para el hotel en Burgos en contexto E3.0.



**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.

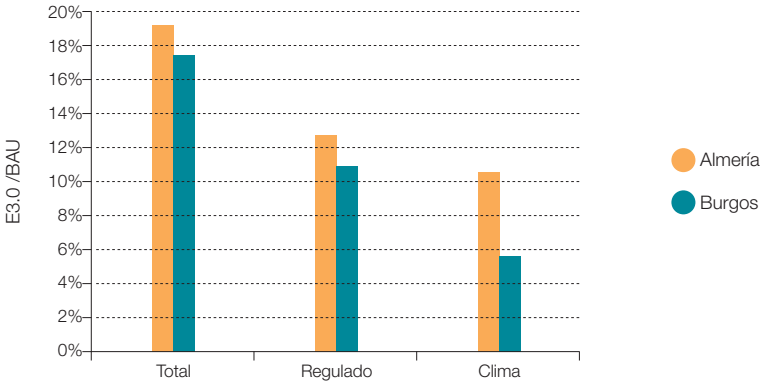


En la figura 455 presentamos el ratio entre energía regulada y energía total y su evolución al pasar del contexto BAU al E3.0 en estos dos emplazamientos climáticos. En el caso de los edificios terciarios, la parte regulada incluye la energía para iluminación. Las componentes reguladas constituyen tan solo el 60% y el 40% en los contextos BAU y E3.0 respectivamente. Por tanto es importante centrar tanto los análisis como la

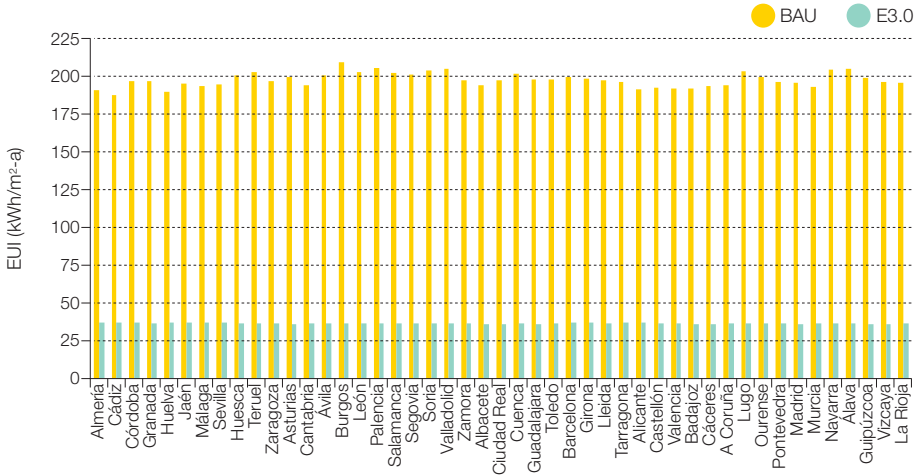
regulación destinados a explotar el potencial de la eficiencia, en el consumo total.

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

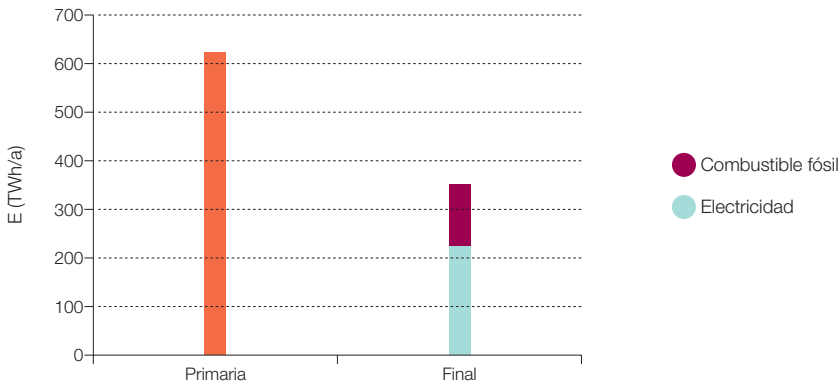
#### 3.7.7.2.1 Escenarios totales BAU

En primer lugar vamos a recopilar los valores correspondientes a los escenarios de demanda

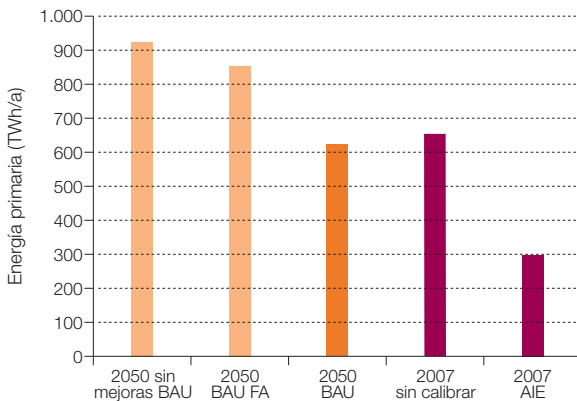
total<sup>809</sup> del sector edificación para el contexto BAU, y compararlos con los valores correspondientes a otros escenarios desarrollados con anterioridad, para ilustrar el hecho de que los BAU aquí presentados son ya más eficientes<sup>810</sup> que los BAU de escenarios anteriores.

Para el caso de la edificación residencial, formada por sus dos modos<sup>811</sup>, 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.