



ALQUILA  
91 809 80 72

VENDE  
91 809 80 72

VENDE  
91 809 80 72

# Escenario de demanda del sector edificación

## 4.1

### Planteamiento

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

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

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

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

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

## 4.2

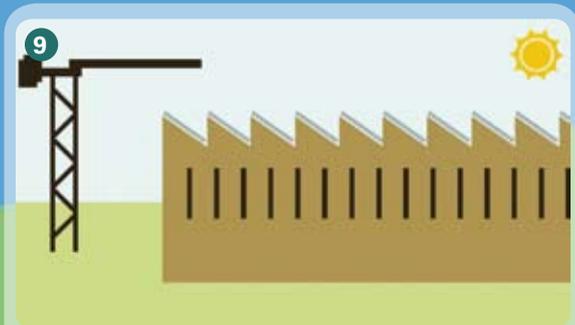
### Contribución sectorial a la demanda energética

El primer elemento a tener presente al analizar la repercusión del sector edificación en el consumo de energía es la ausencia de monitorización del consumo energético en el parque español de edificios. Para el estudio se consideran los balances energéticos de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) de 2007<sup>7</sup> como representativos de la información oficial sobre la estructura de la demanda energética en España. En términos de energía primaria el sector edificación representa un 32,9% del consumo energético total, por delante de los sectores industrial y transporte.

<sup>7</sup> Últimos datos disponibles en el momento de efectuar el estudio.

# Edificación inteligente, eficiente y 100% renovable

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



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

9 Industria

6 Redes inteligentes

5 Gestión de la demanda

8 Economía inteligente



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



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



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

**8 SE VENDE**  
 Vivienda de bajo consumo, con etiqueta A, con todas las necesidades energéticas.  
 DESCUENTOS POR GESTIÓN DE LA DEMANDA

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

**7**

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

**2 Iluminación**

**1 Diseño bioclimático**

**4 Bomba de calor**

**3 Equipamiento**

**6**

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

**7 Generación distribuida**

**4**

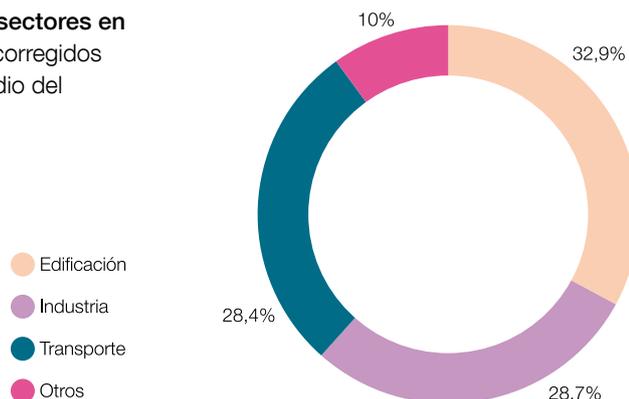
La demanda de calor, frío y agua caliente sanitaria se cubrirá con electricidad 100% renovable mediante bombas de calor. En la transición hacia un sistema Energía 3.0 la energía solar térmica seguirá teniendo un papel importante para la producción de agua caliente en edificios.

**5**

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

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

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



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

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

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

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

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

## 4.3

### Escenario de superficie de edificios

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

Para el desarrollo del escenario se diferencian los dos subsectores: residencial y terciario. La superficie considerada para el sector residencial se ha calculado a partir del escenario de evolución del PIB, por lo que para el año 2050 se puede esperar un área útil de edificación residencial de 65 m<sup>2</sup> /p. Con la distribución provincial asumida para la población, la superficie útil total del parque residencial en 2050 ascendería a 3.894 km<sup>2</sup>, lo que representaría una tasa media de crecimiento del 0,8%/a.

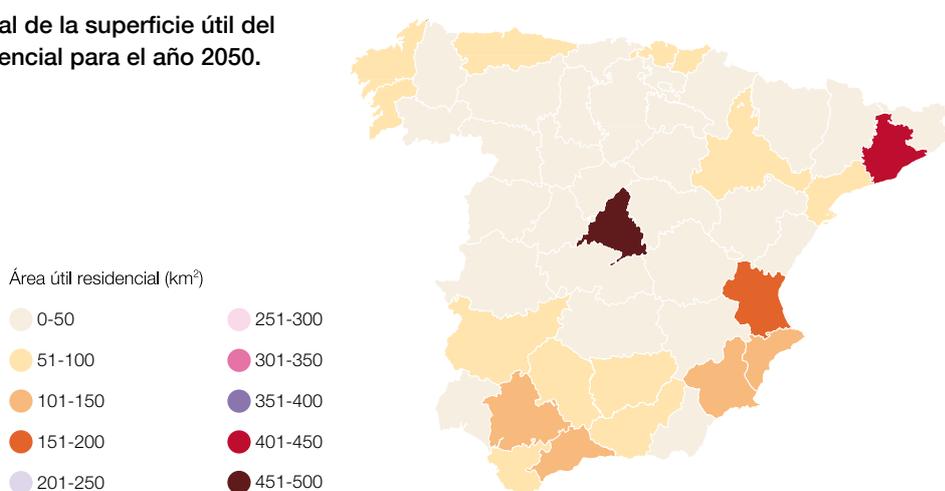
Para el sector terciario, se proyectan a 2050 los ratios de superficie construida terciaria por comunidades autónomas<sup>8</sup>, y se tiene en cuenta una estabilización pos crisis y una

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

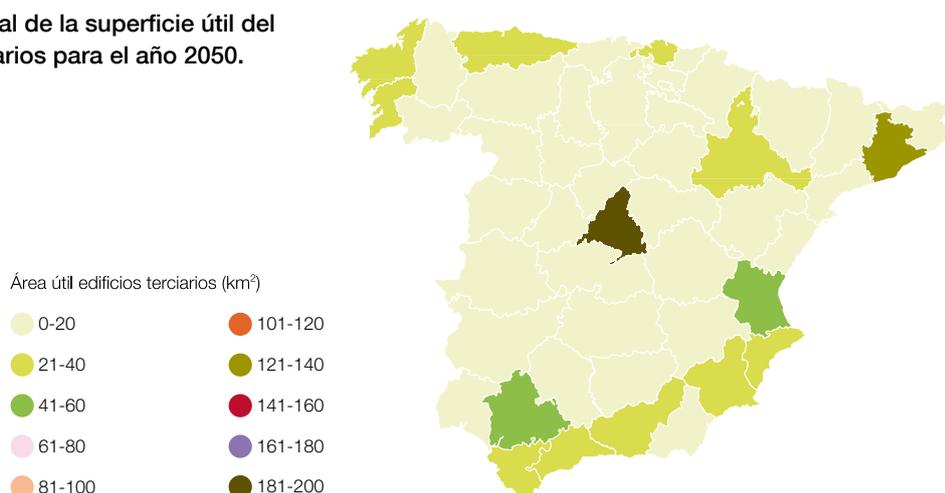
convergencia entre el modelo de urbanización en las capitales de distintas provincias. De acuerdo con estos resultados, el área útil del parque de edificios terciarios en el

año 2050 asciende a 1.027 km<sup>2</sup>, con un crecimiento medio desde el año 2010 del 1,1%/a. Las figuras 6 y 7 muestran el reparto provincial para los dos subsectores

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



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



## 4.4

### Escenario de reparto modal entre tipologías de edificios

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

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

#### 4.4.1 Tipologías de edificios

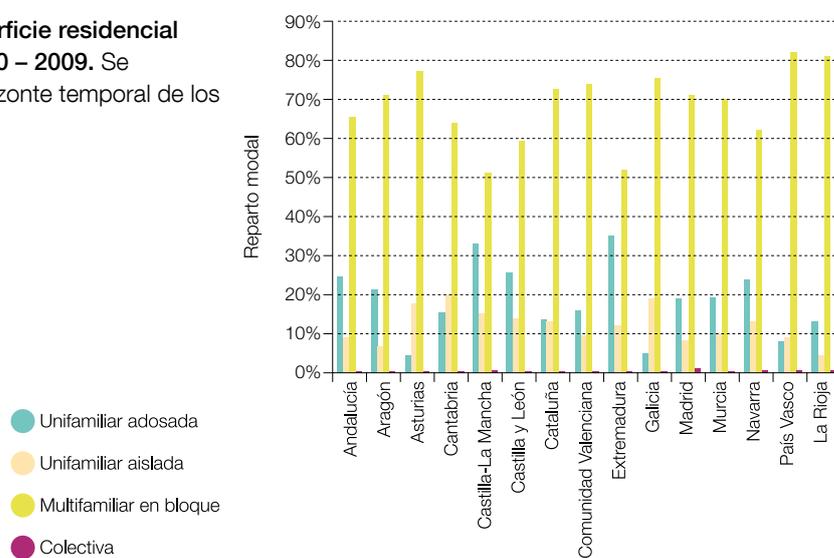
Para desarrollar el escenario de reparto modal es necesario establecer las tipologías de edificios más representativas en nuestro país. Para la elaboración

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

de este estudio, debido a la ausencia tanto de edificios de referencia, como de una caracterización completa del parque de edificios existentes, se han elegido las tipologías de los edificios de referencia del Departamento de Energía de EE.UU. (DOE Benchmark) que se consideran más representativas<sup>9</sup>. Además, en el marco de este informe se ha desarrollado un edificio de referencia representativo de los edificios residenciales unifamiliares.

Se consideran diez tipologías de edificios<sup>10</sup>: oficina, almacén, comercio, educación, supermercado, restaurante, hospital, hotel, residencial (bloque de pisos), y residencial unifamiliar (no bloque de pisos).

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



#### 4.4.2 Reparto modal

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

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

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

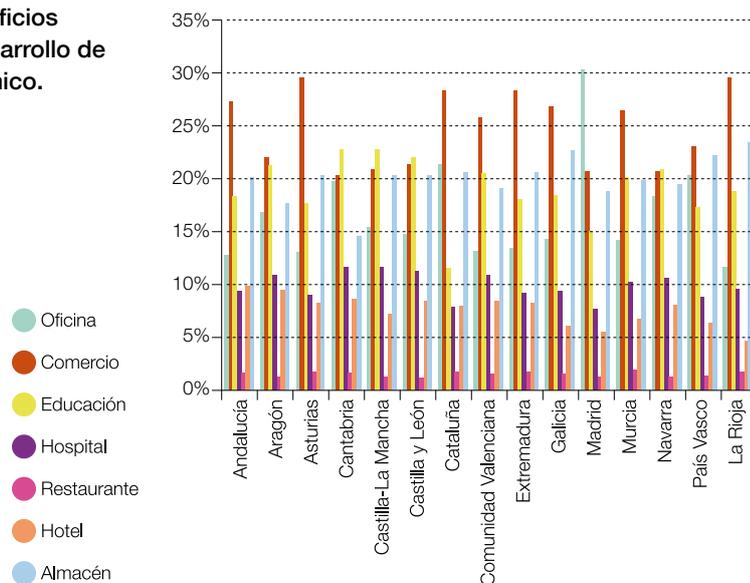
ha ponderado con la información nacional disponible correspondiente a la construcción esos últimos diez años, con los siguientes resultados por CC.AA.:

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

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

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

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



## 4.5

### Componentes de la demanda energética y potencial de mejora

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

En este apartado se recopilan los componentes básicos que implican la demanda energética de los edificios, con indicación de los niveles de eficiencia que se pueden alcanzar en cada escenario. Se han tenido en cuenta los componentes de la demanda relacionados con la envolvente del edificio, la iluminación, los equipamientos y la climatización. En el contexto E3.0 se han incorporado elementos pasivos<sup>12</sup> como los espesores de aislante, las roturas de puente térmico, la inercia térmica, las ganancias solares para calefacción, las protecciones solares, los techos fríos, la refrigeración por ventilación nocturna o la iluminación natural.

#### 4.5.1 Envolvente del edificio

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

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

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

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

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

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

aislamiento<sup>13</sup> óptimo de las paredes elegidos para el contexto E3.0 van desde valores del orden de 6 cm en Málaga, hasta valores de 33 cm en Burgos. Por tanto, así como en los emplazamientos de mayor severidad climática de invierno los espesores de aislamiento óptimos son del orden de los correspondientes al estándar empleados en la construcción de casas pasivas (Passive House en inglés), en los emplazamientos de menor severidad climática de invierno y dominados por la demanda de refrigeración no tiene sentido emplear espesores de aislamiento tan elevados.

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

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

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

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

por el que cabe esperar que evolucionen más las superficies acristaladas. Ya existen en el mercado ventanas termocrómicas (modifican sus características en función de la irradiación solar) y electrocrómicas (modifican sus características en función de una señal eléctrica). Su participación a mayor escala en el mercado no se encuentra tan alejada<sup>14</sup>. Este comportamiento dinámico tiene que extenderse también a la capacidad aislante del acristalamiento para evitar la penalización que el acristalamiento introduce actualmente sobre el consumo energético del edificio.

En un **contexto de Eficiencia** se ha optado por configurar el acristalamiento basándose en capas<sup>15</sup> disponibles en la actualidad. En este contexto se cuenta con un despliegue de inteligencia que proporciona un control dinámico de las características del acristalamiento, para conseguir los valores más bajos posibles del coeficiente de transferencia y los valores más elevados posibles del coeficiente de aporte solar.

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

#### 4.5.2 Iluminación

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

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

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

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

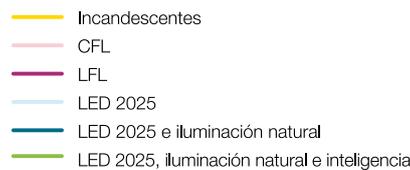
<sup>14</sup> En el programa Net-zero Energy Commercial Building Initiative del Departamento de Energía de EE. UU. cuentan con que para el año 2015 el control dinámico de las ventanas permitirá variar la transmitancia luminosa entre el 65% y el 2%, y el coeficiente de aporte solar entre 0,53 y 0,09.

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

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

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

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



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

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

### 4.5.3 Equipamientos

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

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

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

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

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

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

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

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

Por lo que se refiere a los equipamientos más específicos de proceso, y en particular para aquellos con condiciones críticas de uso, como es el caso de los hospitales, los niveles de ahorro considerados han sido más conservadores, y se sitúan en torno a un 30 % - 40 % según el tipo de equipamiento<sup>17</sup>.

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

### 4.5.4 Generación de calor y frío: bombas de calor

Las bombas de calor hay que entenderlas como tecnologías que aprovechan energía térmica de origen renovable (solar) almacenada en el aire (bombas aerotérmicas), o en la tierra (bombas de calor geotérmicas<sup>18</sup>).

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

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

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

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

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

El potencial de mejora de la eficiencia de las bombas de calor es muy elevado, de tal forma que en un contexto de Eficiencia podrá alcanzar valores superiores a un coeficiente de rendimiento (COP) de 6,5. Los refrigerantes considerados en este contexto son refrigerantes naturales como el isobutano y el CO<sub>2</sub>.

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

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

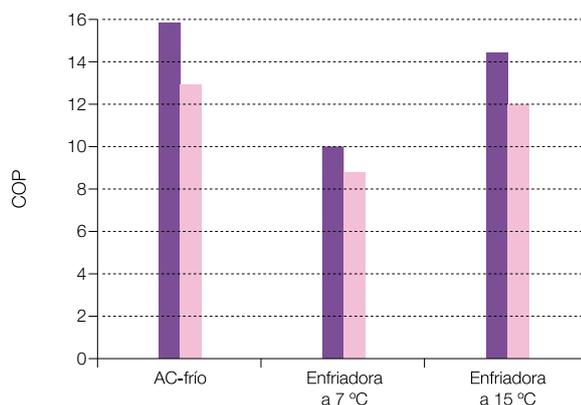
<sup>16</sup> En términos de reducción del consumo, algunos modelos de cocinas de inducción actuales ya proporcionan mayores niveles de ahorro respecto a las cocinas de gas.

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

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

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

● COP límite Carnot  
● COP\_max

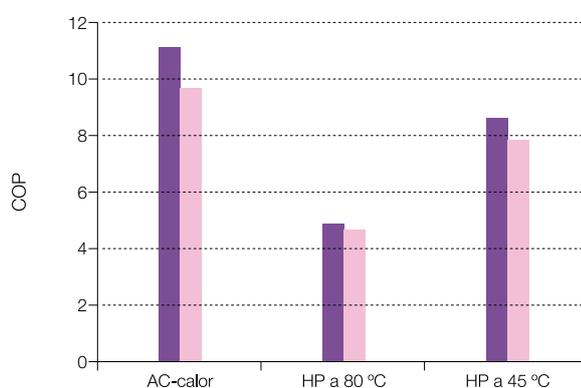


En cuanto a la **generación de calor**, el uso de las bombas de calor para calefacción hasta la fecha está menos extendido por la dificultad que conlleva para estos aparatos el operar a temperaturas exteriores bajas (la bomba geotérmica puede suplir este problema, pero no es tan adecuada en zonas donde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

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

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

● COP límite Carnot  
● COP\_max



En cuanto al **agua caliente sanitaria (ACS)**, el uso de bombas de calor es muy limitado. En la actualidad están experimentando un mayor crecimiento gracias a la introducción del CO<sup>2</sup> como fluido refrigerante.

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

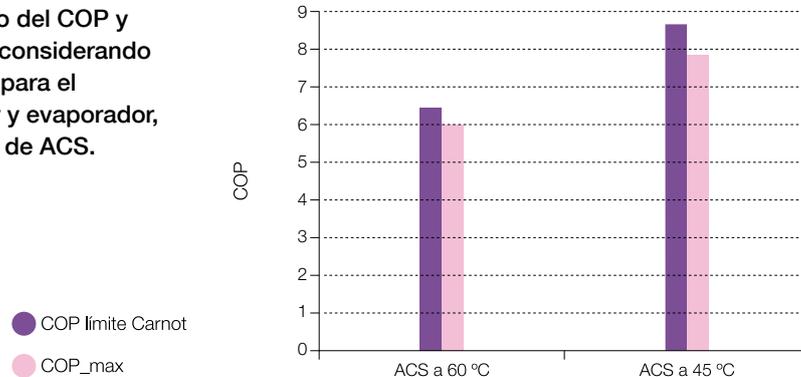


Varios carros de la compra a la entrada de un supermercado en Madrid.

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

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

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



En el contexto de Eficiencia con un sistema energético integrado, con generación renovable que proporciona electricidad residual y con bombas de calor muy eficientes para la producción de ACS, queda menos justificada la inversión adicional en un sistema de energía solar térmica. Sin embargo, es de esperar que en el proceso de transición la solar térmica siga jugando un papel importante, por lo que en el horizonte del escenario que contemplamos es posible que cuente con una participación en la cobertura de la demanda. De acuerdo con esto la hipótesis que se considera es que existirá una capacidad de energía solar térmica para producción de ACS, que en la media de todo el parque de edificios corresponderá al 50 % del valor estipulado en la legislación actual para los edificios nuevos<sup>19</sup>.

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

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

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

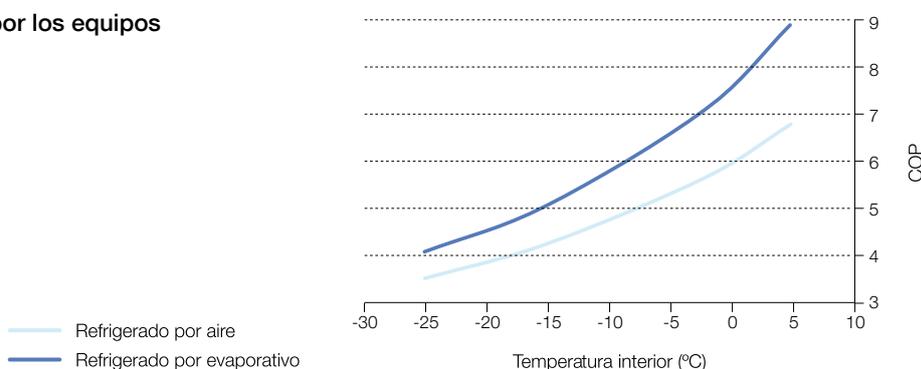
En el contexto BAU se van a suponer valores del COP de estas bombas de calor del orden de los actuales que pueden oscilar entre 2,5 para aplicaciones de media temperatura y 1,3 para aplicaciones de baja. En el **contexto de Eficiencia** se explota el potencial de mejora de estos equipos al reducir la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

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

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

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

Figura 14 COP alcanzable por los equipos de refrigeración.



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

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

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

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

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

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

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

Para la elaboración del escenario de Eficiencia, en la mayoría de los casos se emplean sistemas de distribución por aire<sup>20</sup>. Se ha considerado una mejora del rendimiento de los ventiladores, de los motores eléctricos y una reducción de la caída de presión en los conductos.

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

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

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

### 4.6

#### Escenarios de demanda energética por tipología de edificio

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

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

En cada tipología de edificio se muestra la estructura del consumo energético para dos emplazamientos climáticos extremos (Almería y Burgos), y la recopilación de los resultados, tanto BAU como E3.0, por provincias. Además se muestra la fracción de consumo de energía total, regulada<sup>21</sup> y de climatización del escenario E3.0 respecto al BAU.

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

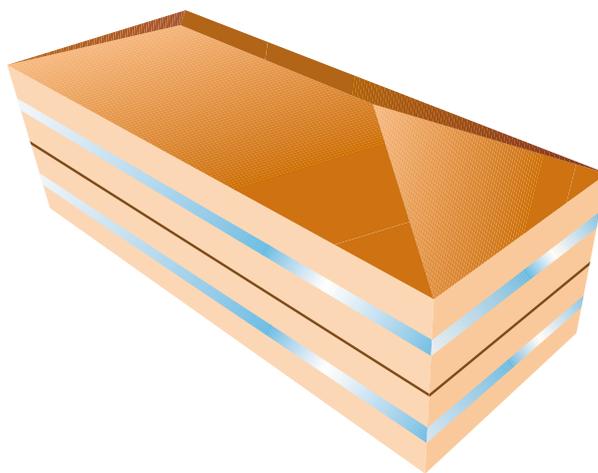
El despliegue de eficiencia asociado al contexto E3.0 conduce a una gran uniformización espacial de la demanda energética de todos los tipos de edificios. De hecho, excepto aquellos edificios con un gran peso de las cargas de proceso (supermercado, hospital, restaurante, y en menor medida hotel) la demanda de energía final se uniformiza bastante entre los distintos tipos de edificios, de tal forma que en edificios residenciales, de oficina, comercios, o centros educativos, la demanda correspondiente al contexto E3.0 es bastante parecida y del orden de 20 kWh/m<sup>2</sup>-a.

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

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

#### 4.6.1 Residencial unifamiliar

Figura 15 Edificio de referencia residencial unifamiliar, representativo de 3 viviendas adosadas de 84 m<sup>2</sup> cada una. Área acondicionada = 252 m<sup>2</sup>.



En la figura 16 se muestra la estructura del consumo final de energía (EUI)<sup>22</sup> en dos emplazamientos climáticos extremos, Almería y Burgos, para los contextos BAU y E3.0. Mientras que en un contexto de Continuidad la mayor demanda energética total corresponde a la provincia con mayor severidad climática en invierno, con una demanda de 157 kWh/m<sup>2</sup> -a, en un contexto de Eficiencia la demanda de esta provincia queda reducida a 25kWh/m<sup>2</sup> -a.

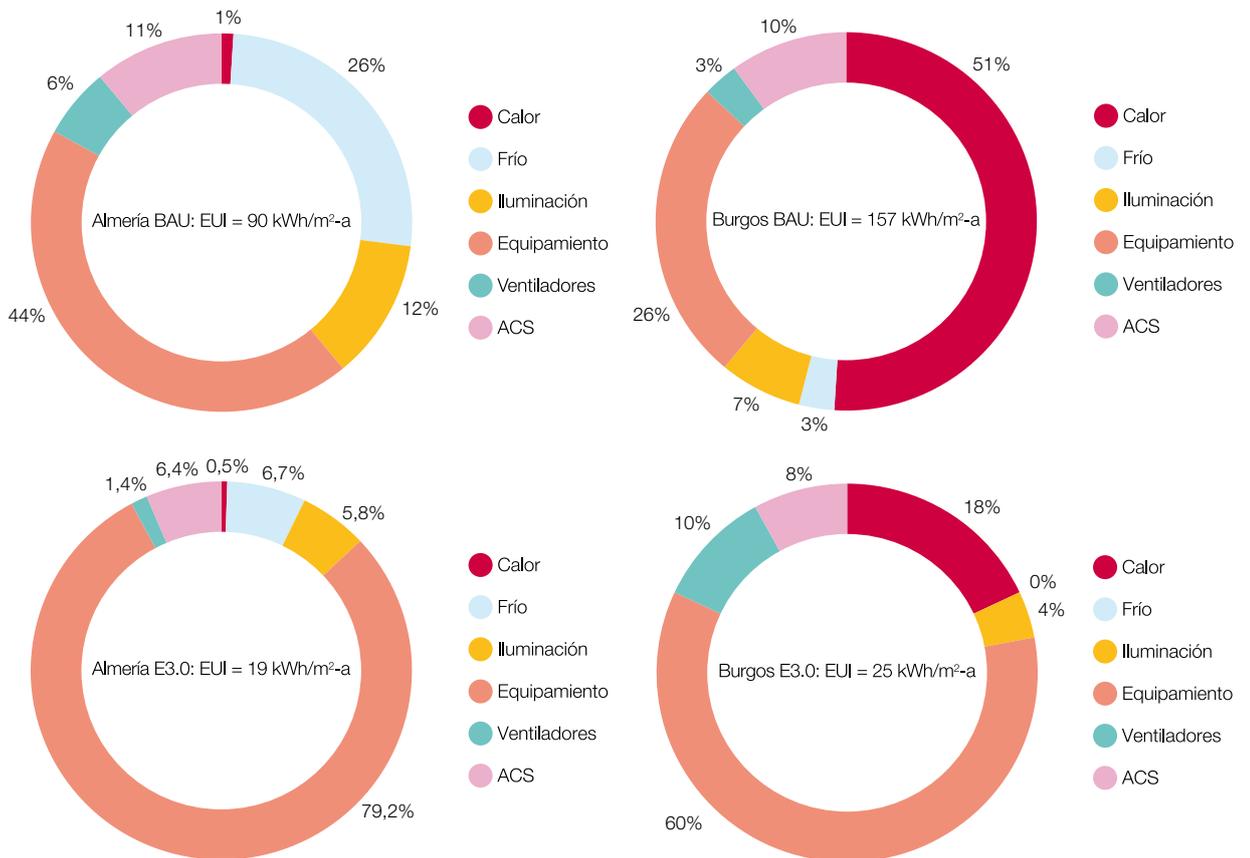
<sup>21</sup> El término energía regulada se refiere a aquellos componentes de consumo que están regulados por la legislación actual de edificación. En el caso de los edificios residenciales, esto deja fuera, entre otros, a los consumos para iluminación y para equipamiento.

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

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

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

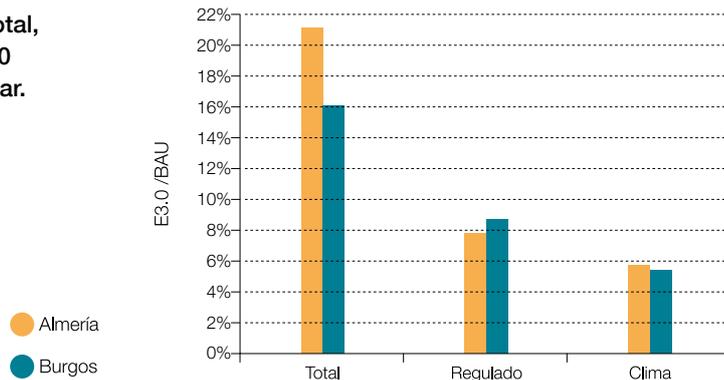
**Figura 16 Estructura de la demanda final de energía para vivienda unifamiliar, en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU y E3.0.**



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

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

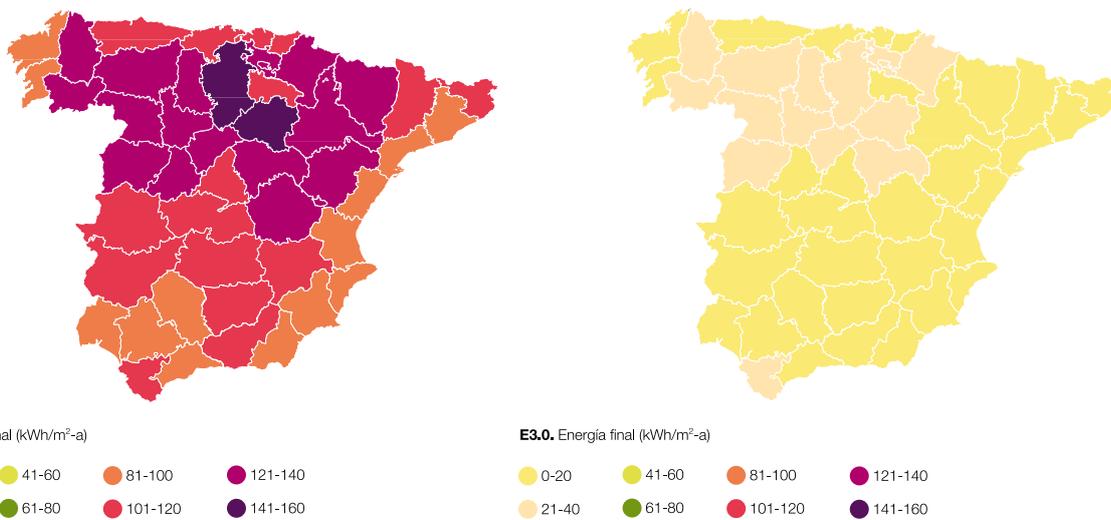
Figura 17 Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Vivienda unifamiliar.



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

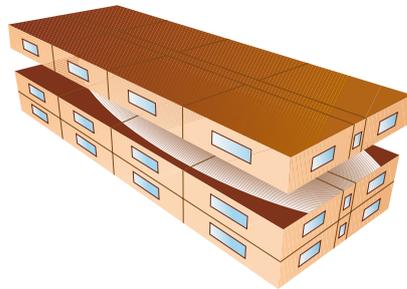
un elevado nivel de ahorro, con una distribución muy homogénea del consumo total de energía. Esto es debido al considerable ahorro en la demanda de climatización de los edificios y a que la mayor parte del gasto energético se centra en equipamientos.

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



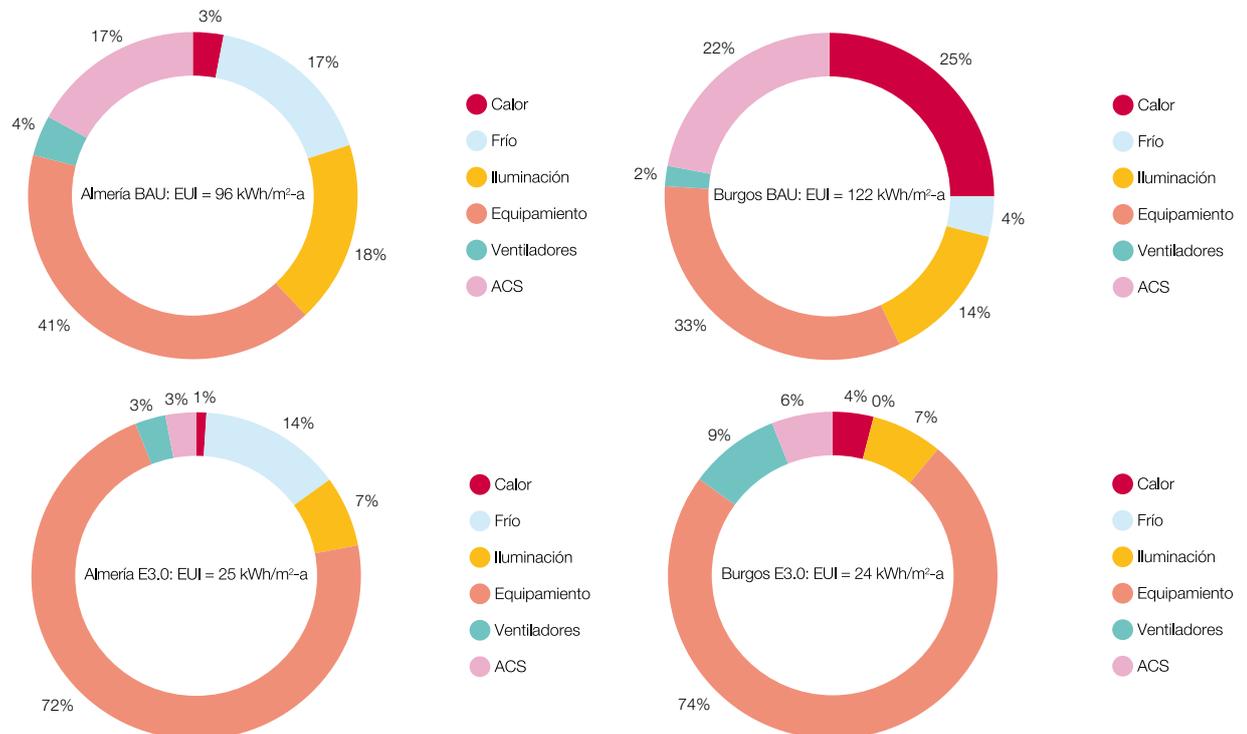
#### 4.6.2 Residencial en bloque

Figura 19 **Residencial bloque. Edificio de referencia de residencial<sup>23</sup>: bloque de pisos.** Corresponde al DOE Benchmark. Área climatizada = 3.135 m<sup>2</sup>.



En la figura 20 se muestra la estructura de la demanda final de energía en dos emplazamientos climáticos extremos, Almería y Burgos, para los contextos BAU y E3.0. En un contexto de menor eficiencia la mayor demanda energética total corresponde a la provincia con mayor severidad climática en invierno, con una demanda de 122 kWh/m<sup>2</sup> -a. En un contexto de Eficiencia la demanda de esta provincia queda reducida a 24kWh/m<sup>2</sup> -a, por debajo incluso de la provincia más cálida, debido fundamentalmente a la disminución en el requerimiento de calefacción. En un contexto de Eficiencia, e independientemente de la zona climática donde se sitúen, el mayor requerimiento energético de este tipo de edificios corresponde a los equipamientos, y es en Almería un 72% y en Burgos un 74% de la demanda total de energía del edificio.

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



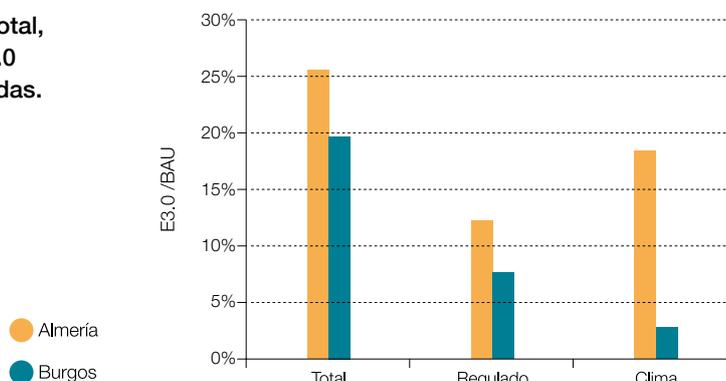
<sup>23</sup> Corresponde a un edificio de cuatro pisos, de los cuales solo se muestran tres porque el segundo y tercero son térmicamente equivalentes.

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

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

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

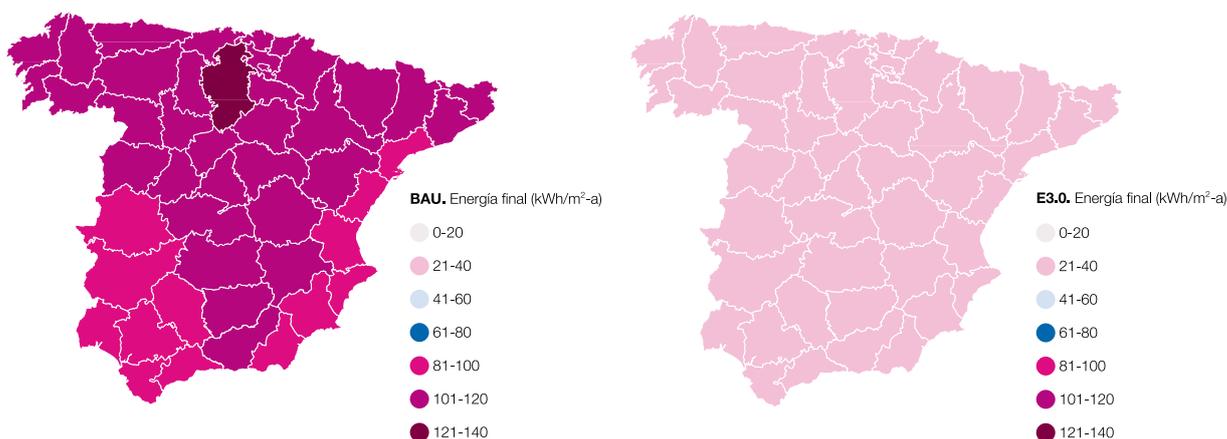
Figura 21 Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Bloque de viviendas.



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

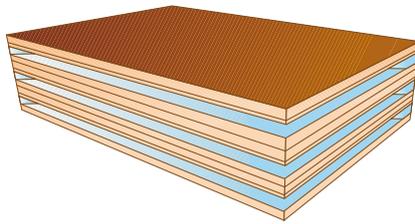
nivel de ahorro, con una distribución muy homogénea del consumo total de energía, debido al considerable ahorro en la demanda de climatización de los edificios y a que la mayor parte del gasto energético se centra en equipamientos.

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



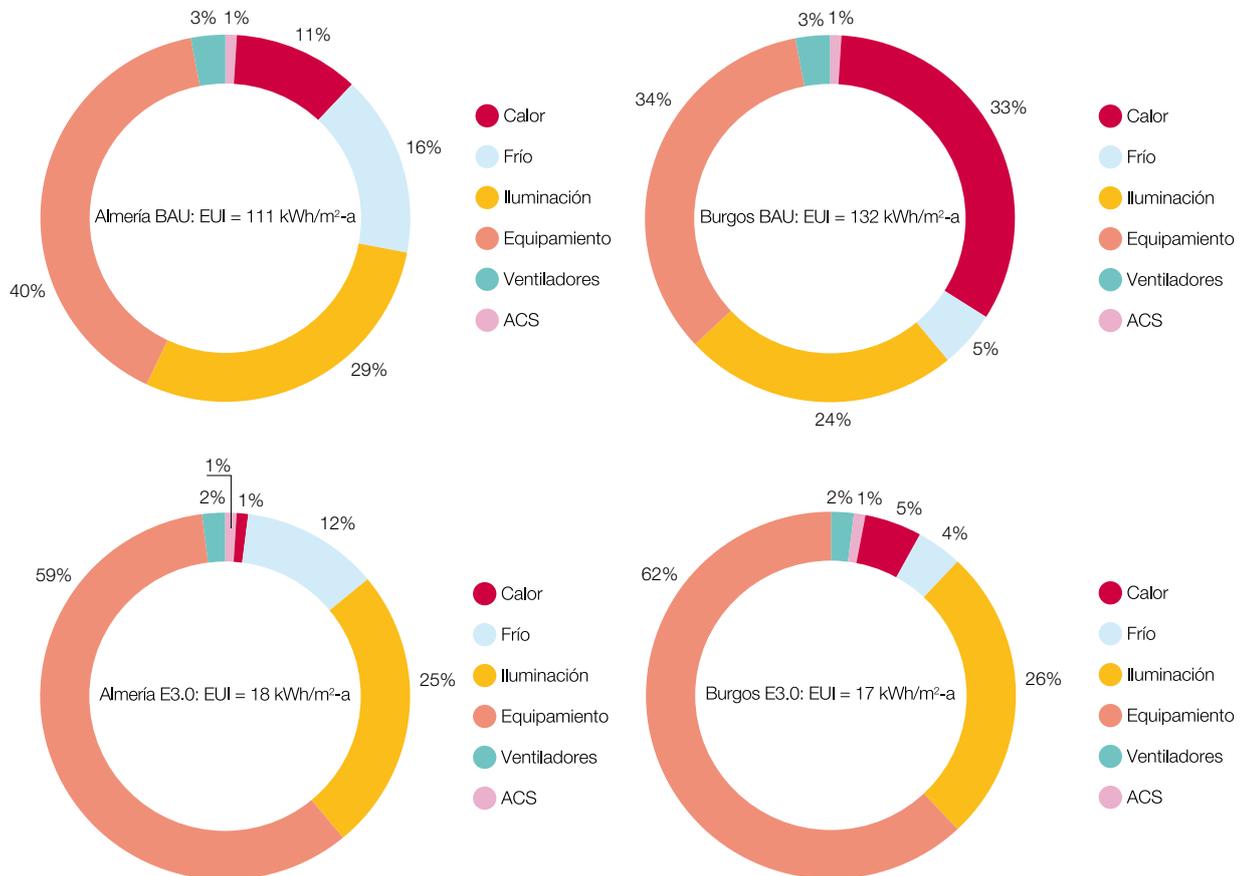
### 4.6.3 Oficina

**Figura 23 Edificio de referencia de oficinas.**  
Corresponde al oficina media del DOE Benchmark.  
Área climatizada = 4.982 m<sup>2</sup>.



En la figura 24 se muestra la estructura de la demanda final de energía en dos emplazamientos climáticos extremos, Almería y Burgos, para los contextos BAU y E3.0. En un contexto de Continuidad la mayor demanda energética total corresponde a la provincia con mayor requerimiento de calefacción, con una demanda de 132 kWh/m<sup>2</sup> -a. En un contexto de Eficiencia la demanda de esta provincia queda reducida a 17 kWh/m<sup>2</sup> -a, por debajo incluso de la provincia más cálida. En un contexto de Eficiencia el mayor requerimiento de energía de este tipo de edificios corresponde a los equipamientos, un 59% en Almería y un 62% en Burgos, seguido de la demanda en iluminación, que representa un porcentaje del 25% y un 26% respectivamente.

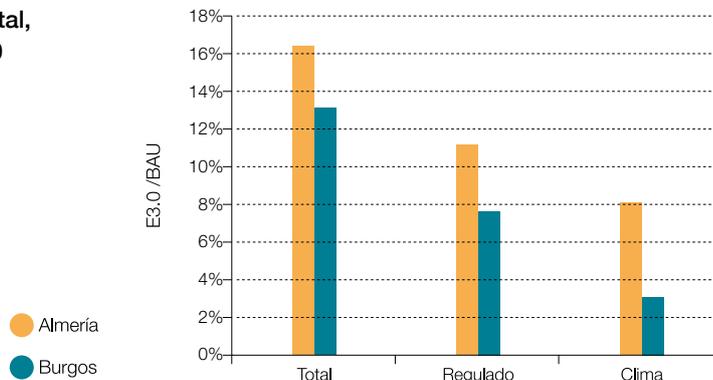
**Figura 24 Estructura de la demanda final de energía para oficinas en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU y E3.0.**



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

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

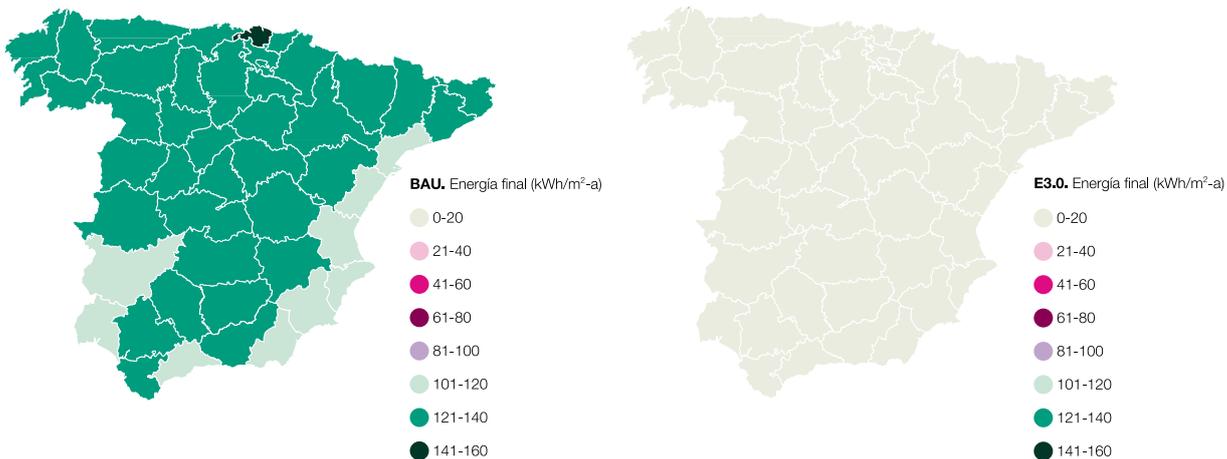
Figura 25 Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Oficina.



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

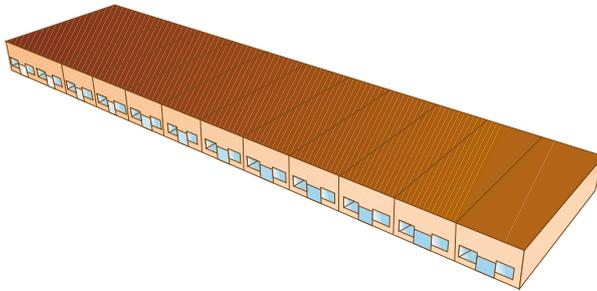
de ahorro con una distribución muy homogénea del consumo total de energía. Este nivel se alcanza debido al considerable ahorro en la demanda de climatización de los edificios y a que la mayor parte del gasto energético se centra en equipamientos e iluminación.

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



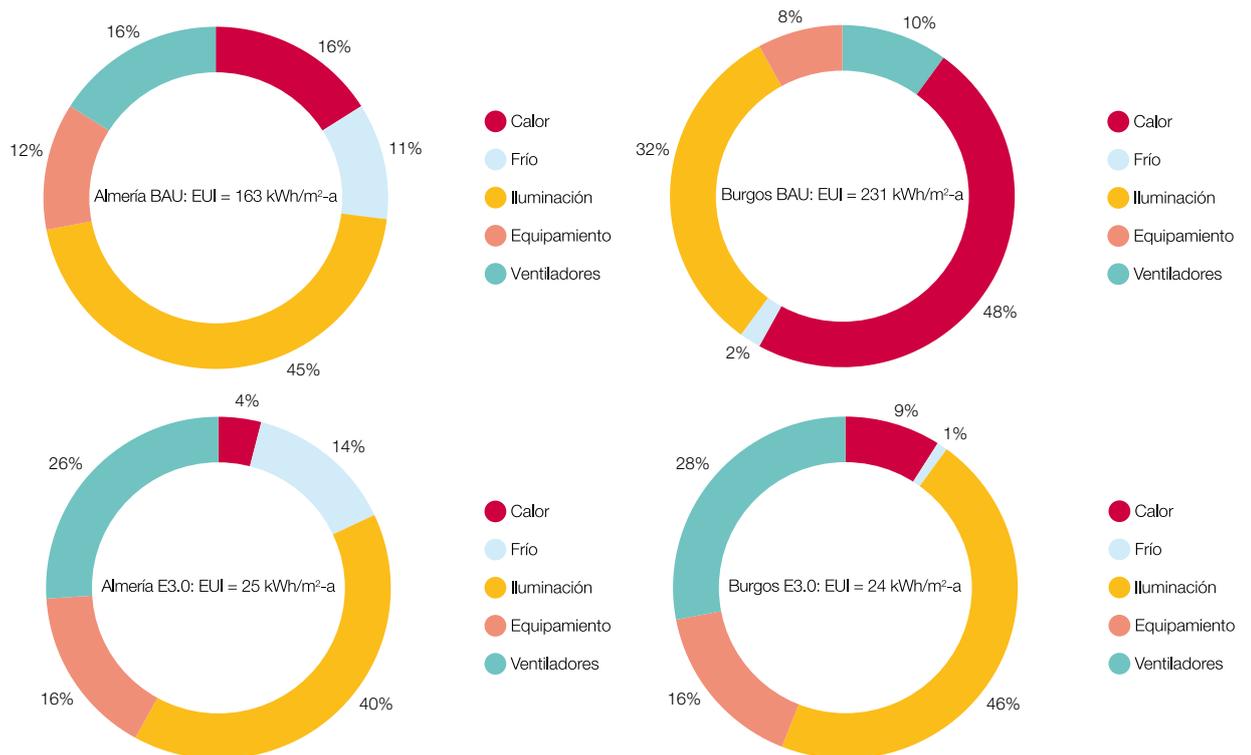
#### 4.6.4 Comercio

**Figura 27 Edificio de referencia de comercio.**  
Corresponde al centro comercial (strip mall) de DOE  
Benchmark. Área climatizada = 2.090 m<sup>2</sup>.



En la figura 28 se muestra la estructura de la demanda final de energía en dos emplazamientos climáticos extremos, Almería y Burgos, para los contextos BAU y E3.0. En un contexto de menor eficiencia la mayor demanda energética total corresponde a la provincia con mayor severidad climática en invierno, con una demanda de 231 kWh/m<sup>2</sup> -a. En un contexto de Eficiencia la demanda de esta provincia queda reducida a 24kWh/m<sup>2</sup> -a - por debajo incluso de la provincia más cálida- debido fundamentalmente a la disminución en el requerimiento de calefacción. En un contexto de Eficiencia las dos provincias tienen prácticamente la misma demanda total de energía, y en Almería es ligeramente superior. En ambos casos la iluminación representa el mayor requerimiento de energía de este tipo de edificios y es del 40 % en Almería y del 46 % en Burgos. Seguido de los equipamientos que representan el 26 % y el 32 %, respectivamente, de la estructura de la demanda.

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

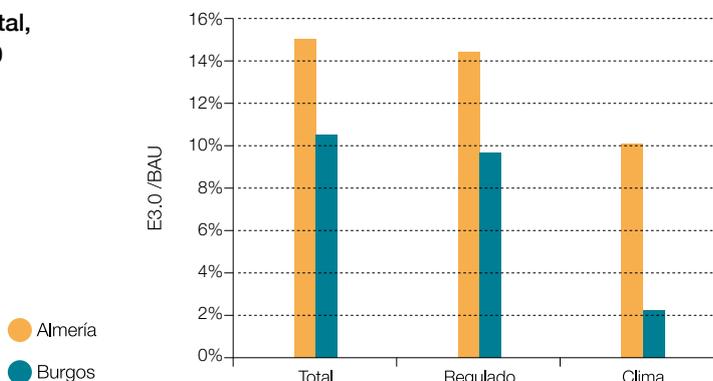


## La aplicación de medidas de eficiencia en el escenario E3.0 tiene como resultado que la demanda de climatización prácticamente se pueda anular, y la demanda de iluminación se pueda reducir mucho.

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

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

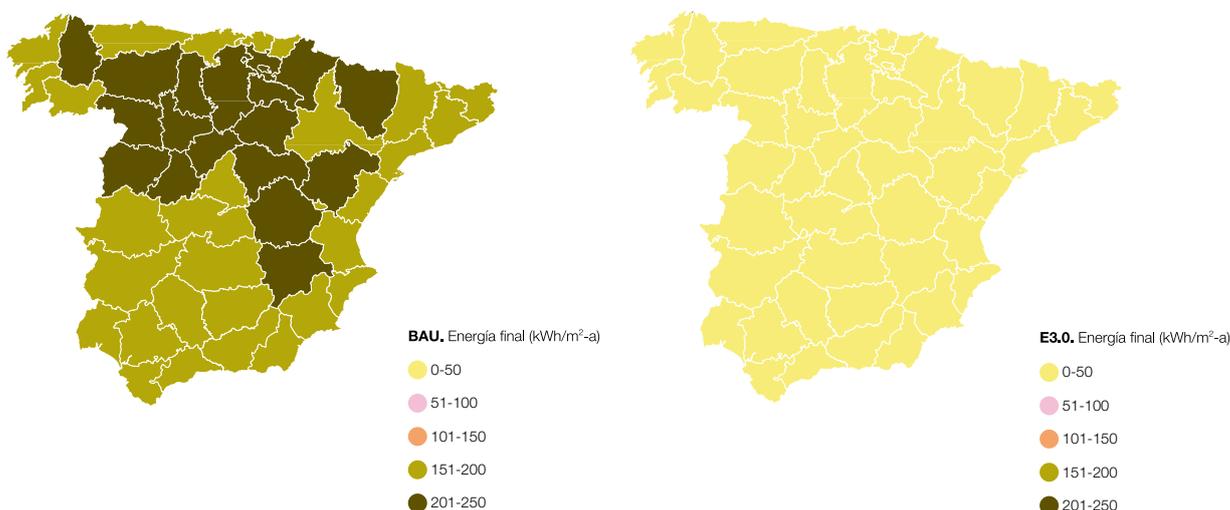
Figura 29 Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Comercio.



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

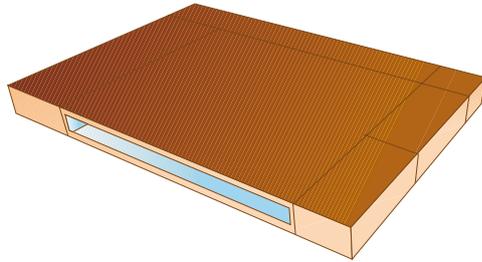
un elevado nivel de ahorro, con una distribución muy homogénea del consumo total de energía. Esto se produce debido al considerable ahorro en la demanda de climatización de los edificios y el mayor peso relativo de iluminación y equipamientos.

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



### 4.6.5 Supermercado

**Figura 31 Edificio de referencia de supermercado.** Corresponde al DOE Benchmark. Área climatizada = 4.181 m<sup>2</sup>. Se diferencia del resto de comercios por la gran necesidad de refrigeración que tiene asociada a la conservación de alimentos.



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

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

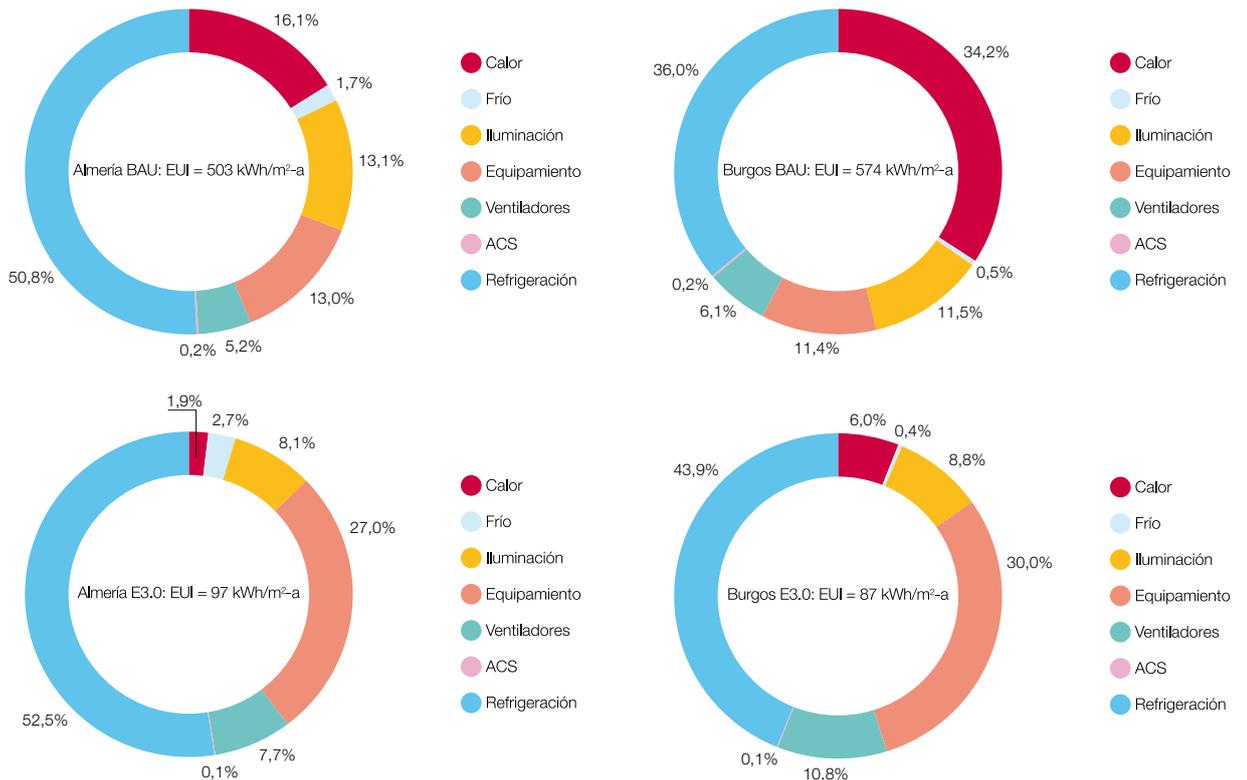


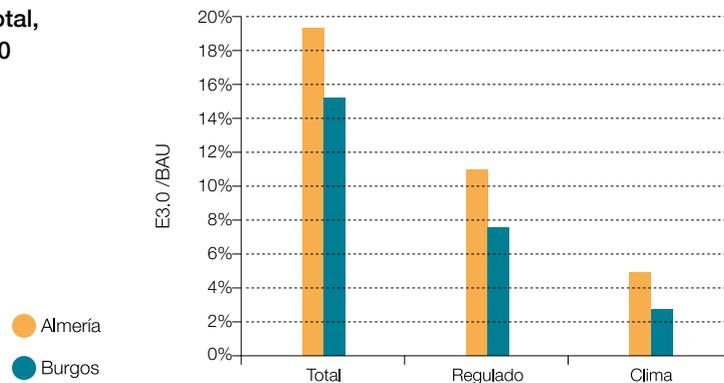


Imagen general del Colegio Valdebernardo (Madrid).

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

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

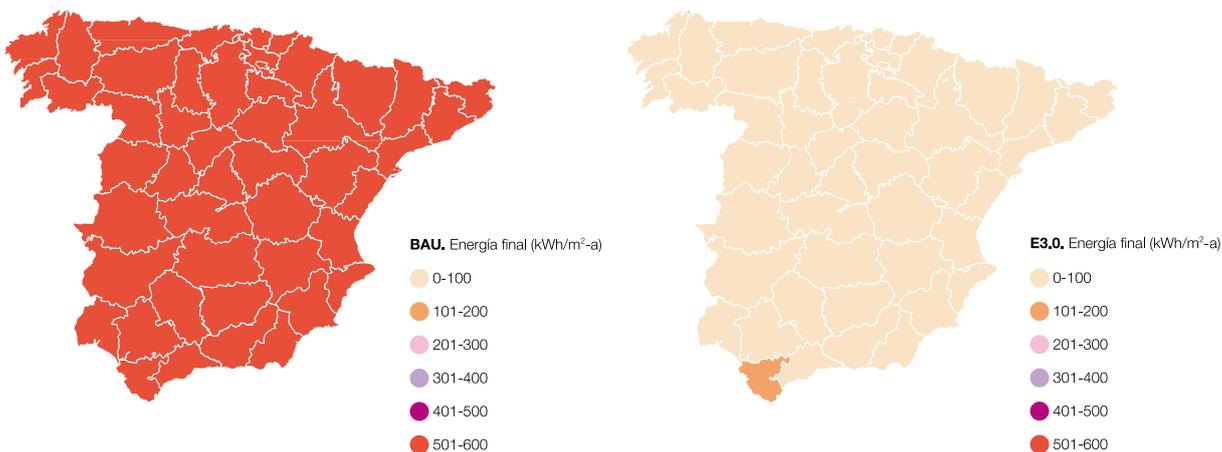
Figura 33 Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Supermercado.



En la distribución provincial se observa que en el escenario BAU los emplazamientos con mayor consumo de energía final, por encima de 560 kWh/m<sup>2</sup> -a, corresponden a las provincias con más demanda de calefacción. Mientras que en el escenario E3.0 en todos

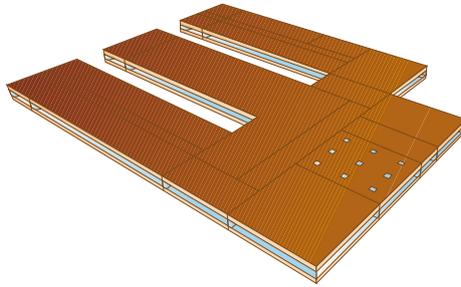
los emplazamientos se alcanza un elevado nivel de ahorro con una distribución muy homogénea del consumo total de energía. Esto es debido al considerable ahorro en la demanda de climatización de los edificios y a un mayor requerimiento en refrigeración y equipamientos.

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



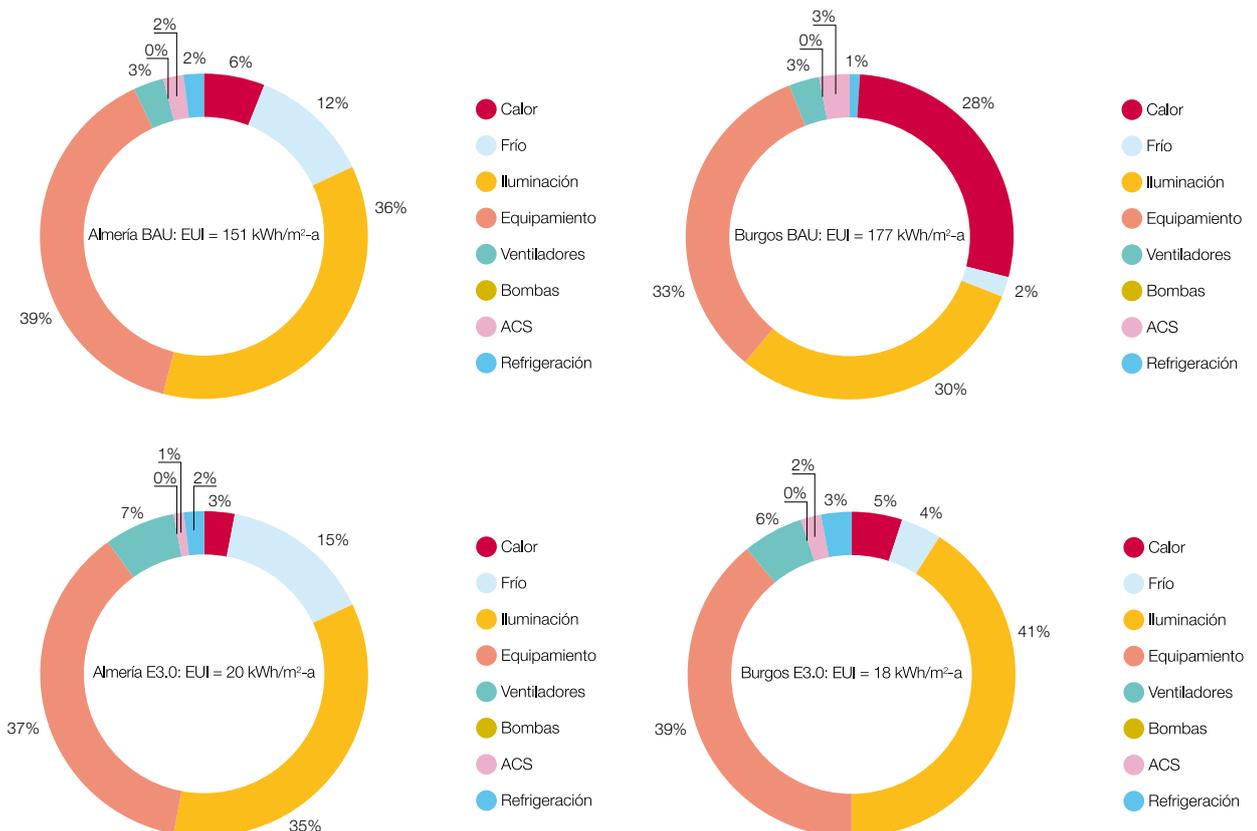
#### 4.6.6 Centro educativo

**Figura 35 Edificio de referencia de educación.**  
Corresponde a la escuela primaria de DOE Benchmark.  
Área climatizada = 6.871 m<sup>2</sup>.



En la figura 36 se muestra la estructura de la demanda final de energía en dos emplazamientos climáticos extremos, Almería y Burgos, para los contextos BAU y E3.0. Se puede observar como incluso en un contexto de menos eficiencia esta tipología queda dominada por los consumos de iluminación y equipamiento. Para el contexto BAU la demanda de energía final se sitúa, en el caso de Almería, en 151 kWh/m<sup>2</sup> -a y, en el caso de Burgos, en 177 kWh/m<sup>2</sup> -a. En el contexto de Eficiencia este dominio se hace todavía más contundente por la reducción de los consumos asociados a la climatización y queda reducido a 20 y 18 kWh/m<sup>2</sup> -a respectivamente.

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

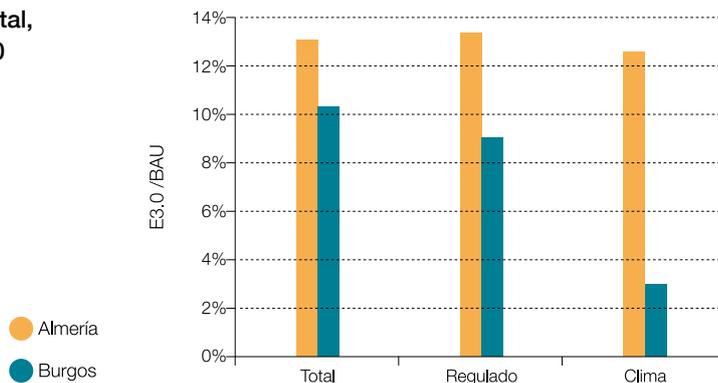


En todos los emplazamientos en el escenario E3.0 se alcanza un elevado nivel de ahorro con una distribución muy homogénea del consumo total de energía. Se debe al ahorro en la demanda de climatización y a que la mayor parte del gasto energético se centra en equipamientos e iluminación.

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

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

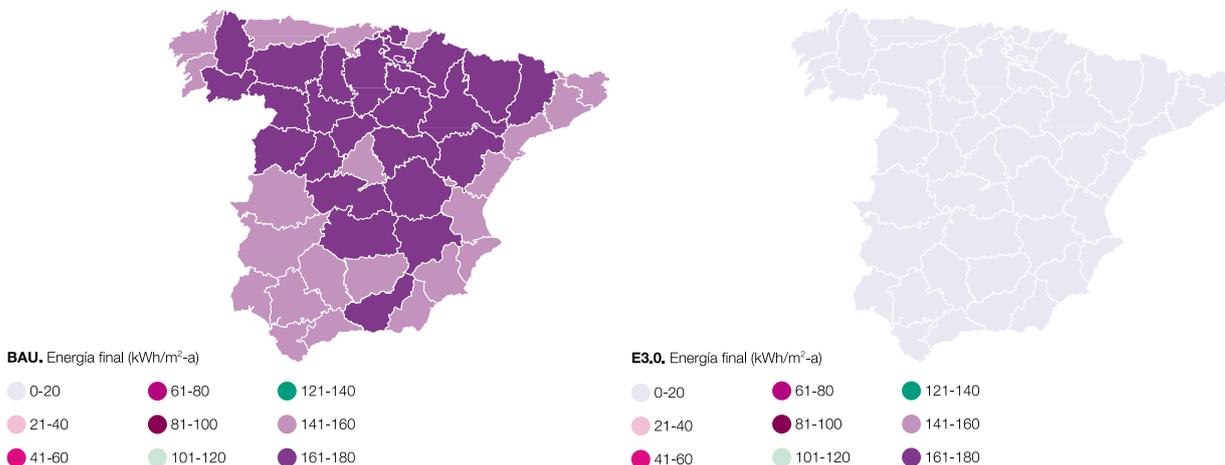
Figura 37 Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Centro educativo.



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

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

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



---

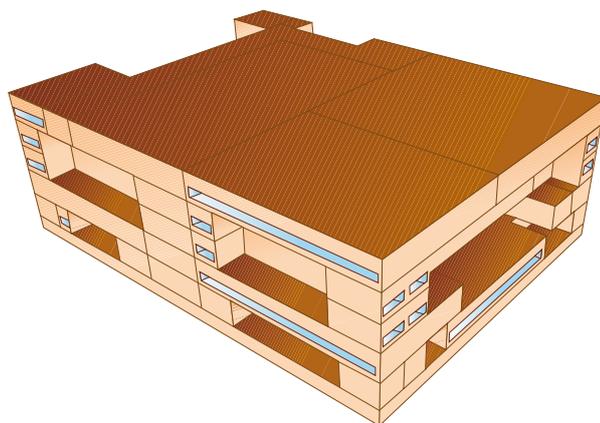
## 4.6.7 Hospital

---

Figura 39 **Edificio de referencia de hospital**<sup>24</sup>.

Corresponde al DOE Benchmark.

Área climatizada = 22.422 m<sup>2</sup>.



---

En la figura 40 se muestra la estructura de la demanda final de energía en dos emplazamientos climáticos extremos, Almería y Burgos, para los contextos BAU y E3.0. Se puede observar cómo en el contexto BAU las estrictas consignas de temperatura y los elevados periodos de operación hacen que la demanda de climatización, y en particular la de calefacción, constituyan el componente más importante de la estructura de consumo. Y es la demanda de energía total en Burgos de 420 kWh/m<sup>2</sup> -a, algo inferior a la de Almería de 435 kWh/m<sup>2</sup> -a.

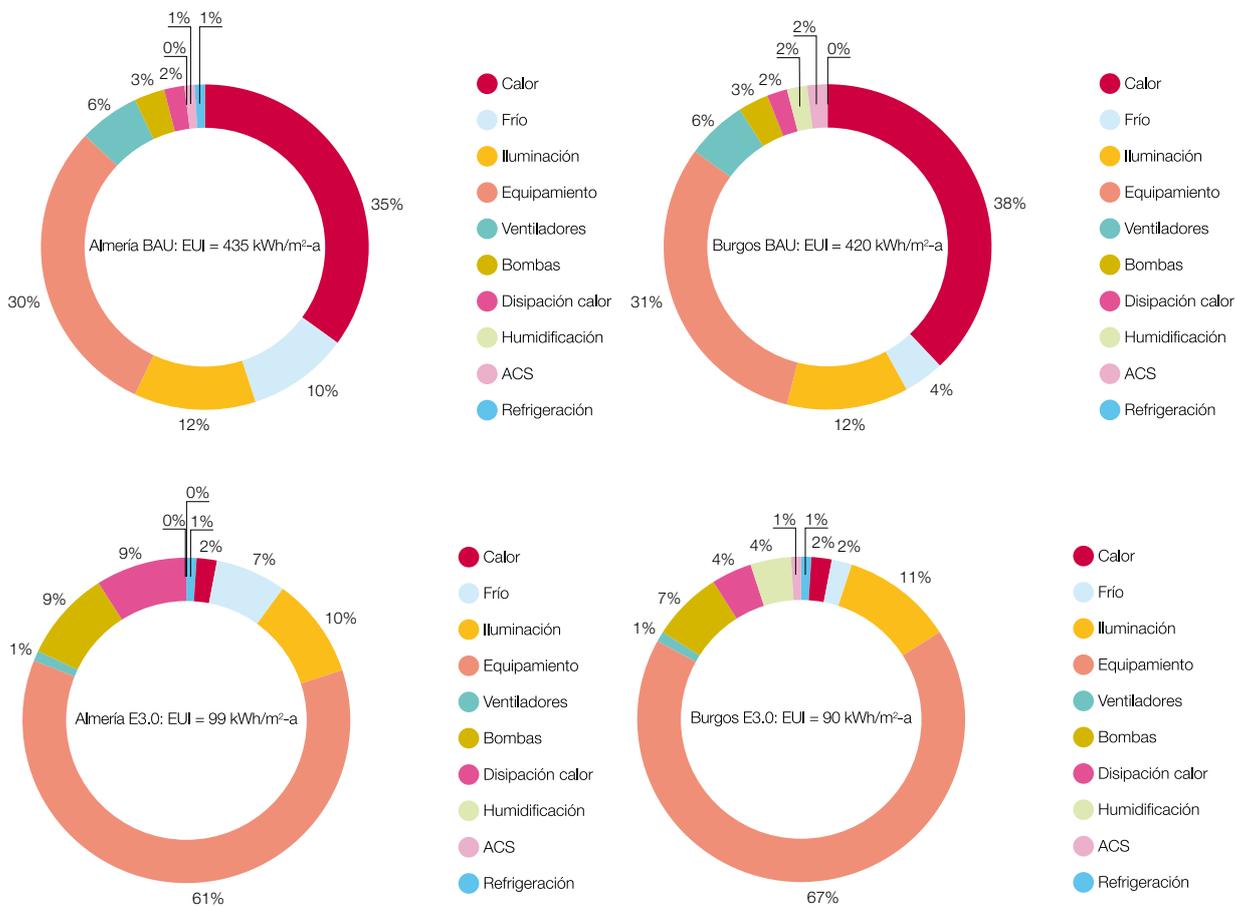
En el contexto de Eficiencia el consumo para climatización se reduce mucho de forma que pasa a ser uno de los componentes menos importantes de la estructura de demanda. El principal consumo energético son los equipamientos que llegan a representar el 61% de la estructura de la demanda para Almería y el 67% para Burgos. La demanda de energía total se reduce<sup>25</sup> considerablemente y queda en 99 kWh/m<sup>2</sup> -a y en 90kWh/m<sup>2</sup> -a respectivamente.

---

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

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

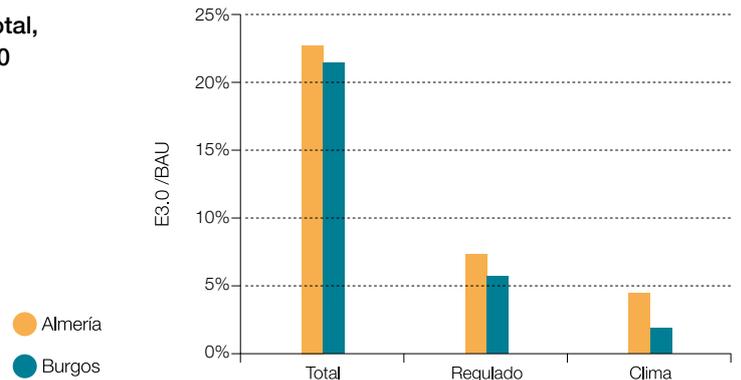
Figura 40 Estructura de la demanda final de energía para hospital en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU y E3.0.



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

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

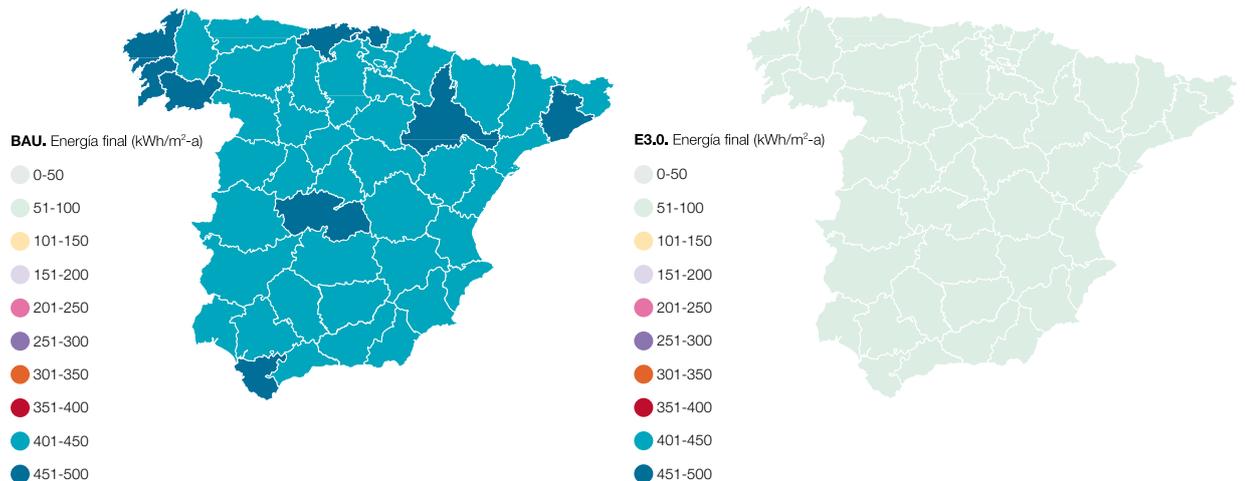
Figura 41 Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Hospital.



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

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

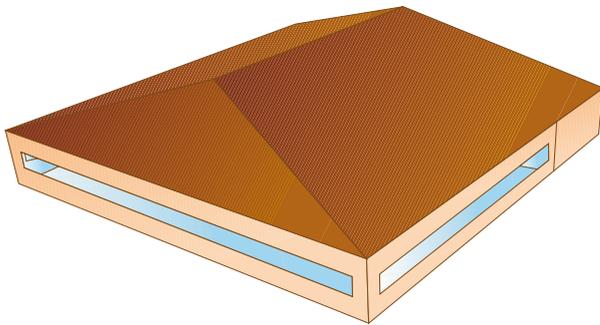
Figura 42 Distribución provincial del consumo total de energía final para hospital, escenarios BAU y E3.0.



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

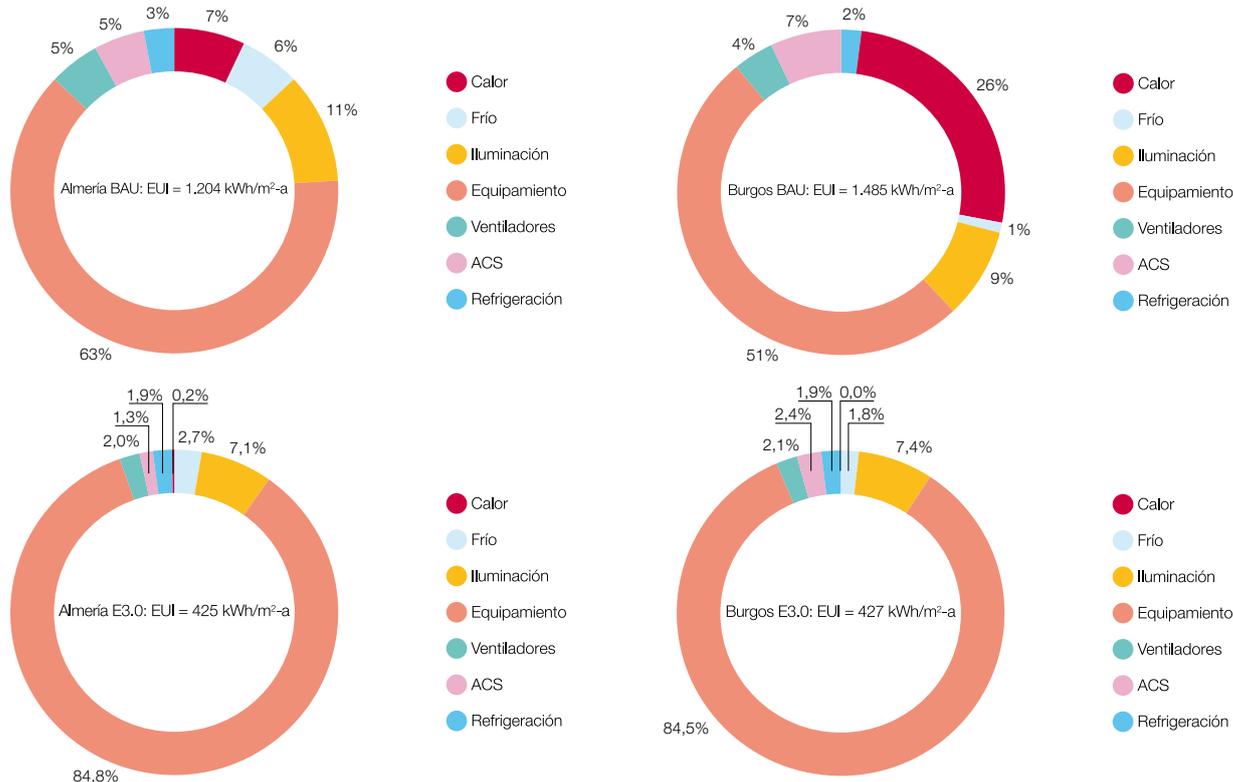
#### 4.6.8 Restaurante

Figura 43 Edificio de referencia de restaurante. Corresponde al DOE Benchmark. Área climatizada = 511 m<sup>2</sup>.



En la figura 44 se muestra la estructura de la demanda final de energía en dos emplazamientos climáticos extremos, Almería y Burgos, para los contextos BAU y E3.0. Se puede observar como incluso en el contexto BAU los equipamientos constituyen el componente más importante de la estructura de consumo, y la demanda de energía total es en ambas provincias muy elevada, en Burgos de 1.485 kWh/m<sup>2</sup> -a, y la de Almería de 1.204 kWh/m<sup>2</sup> -a. Al pasar al contexto de Eficiencia el consumo para climatización se reduce mucho, de forma que pasa a ser uno de los componentes menos importantes de la estructura de demanda. Sin embargo, los equipamientos llegan a representar casi el 85% de la estructura de la demanda para ambos emplazamientos. La demanda de energía total se reduce y es muy similar en ambos emplazamientos.

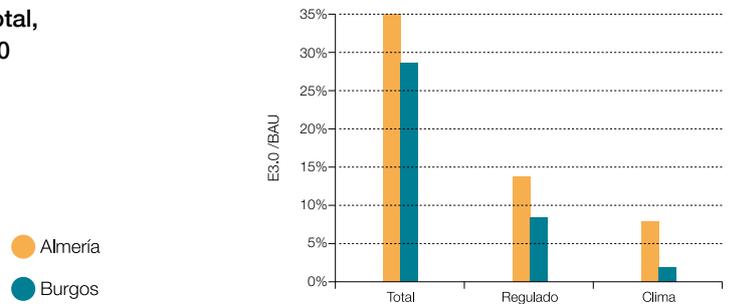
Figura 44 Estructura de la demanda final de energía para restaurante en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU y E3.0.



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

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

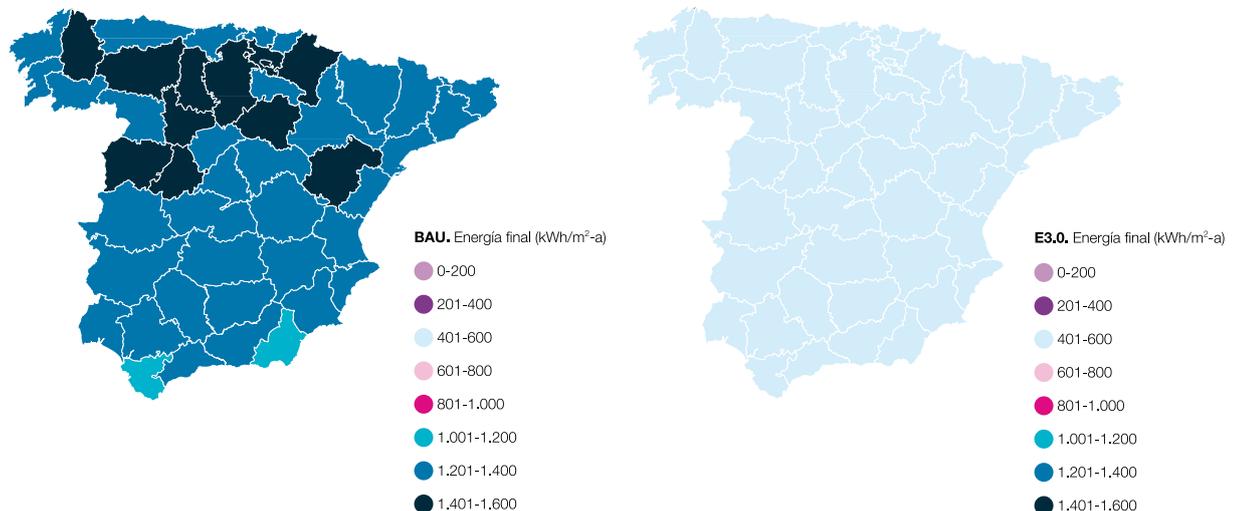
Figura 45 Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Restaurante.



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

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

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

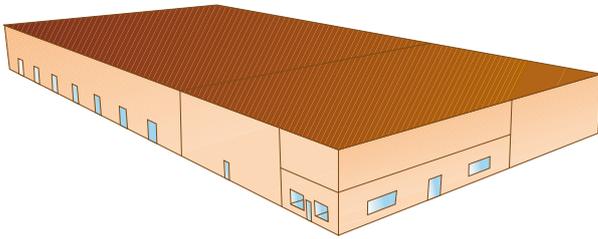




Centro comercial La Gavia (Madrid).

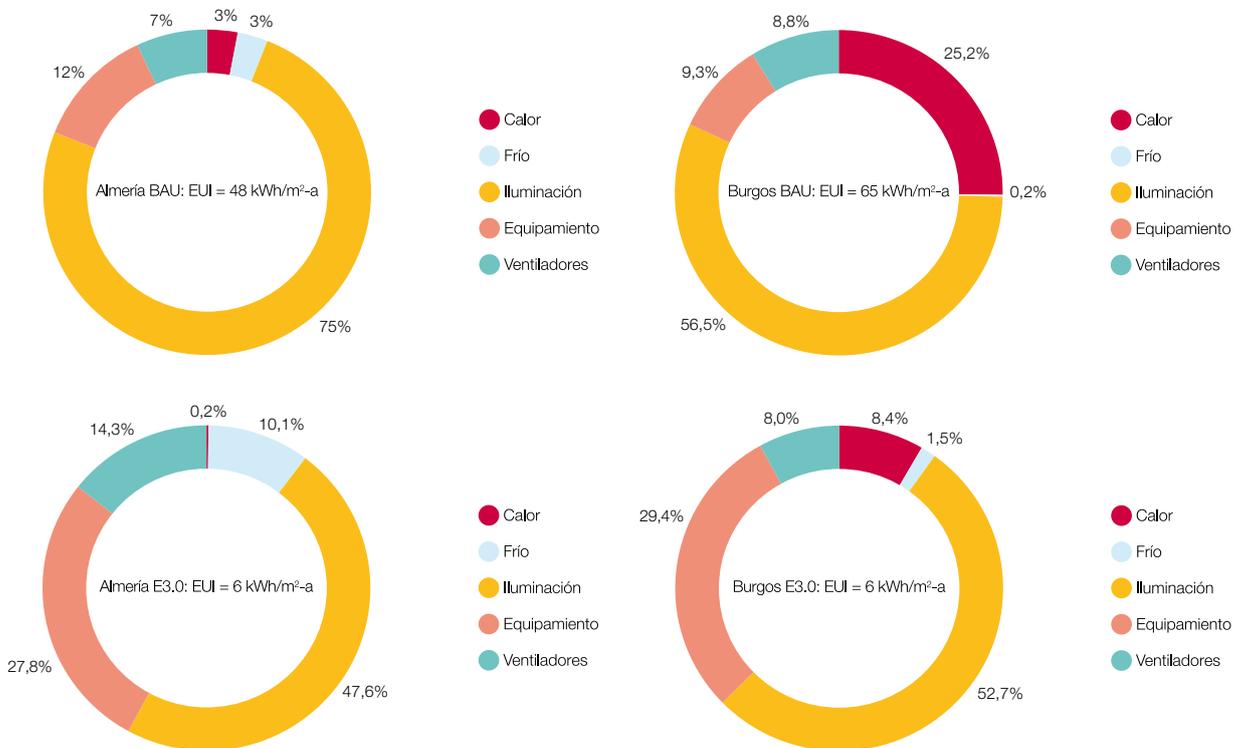
#### 4.6.9 Almacén

Figura 47 Edificio de referencia de almacén. Procede de DOE Benchmark. Área climatizada = 4.835 m<sup>2</sup>.



En la figura 48 se muestra la estructura de la demanda final de energía en dos emplazamientos climáticos extremos, Almería y Burgos, para los contextos BAU y E3.0. En el contexto BAU esta tipología de edificios tiene un gran consumo en iluminación, si bien en las provincias de mayor severidad climática en invierno la climatización tiene una contribución significativa en la demanda. La demanda de energía total en Burgos es de 65 kWh/m<sup>2</sup> -a, y en Almería de 48 kWh/m<sup>2</sup> -a. En el contexto de Eficiencia la iluminación sigue dominando (aunque en menor proporción) esta estructura y se sitúa en torno al 50 % para ambos emplazamientos. La demanda de energía total se reduce y es igual, 6kWh/m<sup>2</sup> -a. en ambos emplazamientos.

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

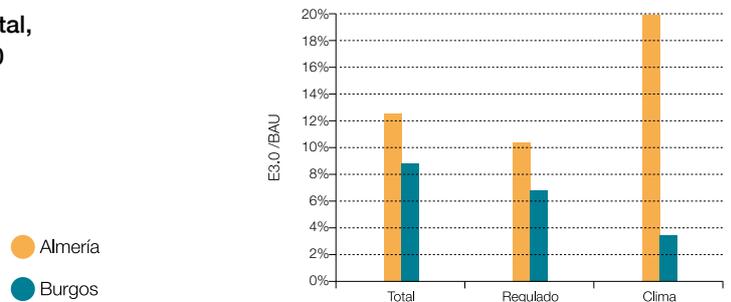


En la figura 49 se puede observar el incremento en ahorro en el consumo de energía al pasar del contexto de Continuidad a un contexto de Eficiencia. En términos de energía total los ahorros alcanzados llegan a ser del orden del 90%. En términos de climatización, en el caso de Burgos, la reducción es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

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

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

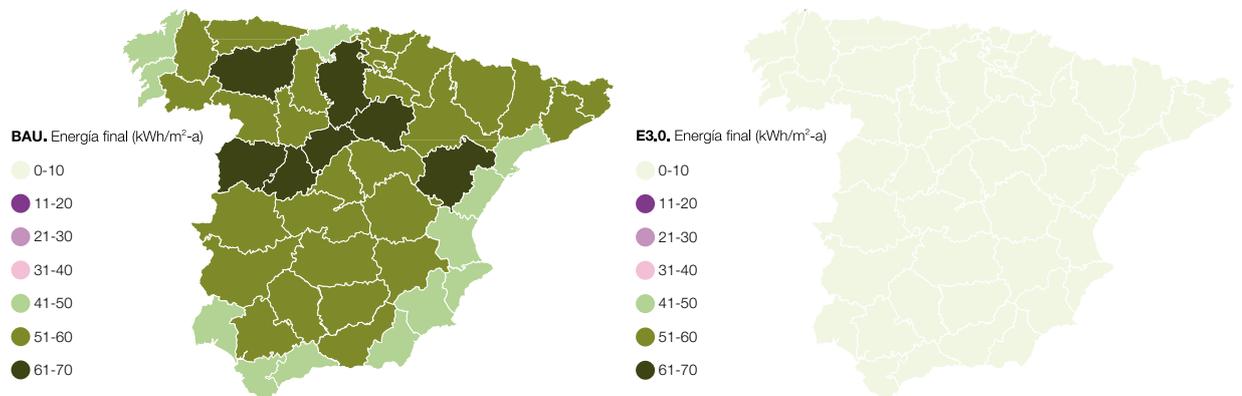
**Figura 49 Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Almacén.**



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

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

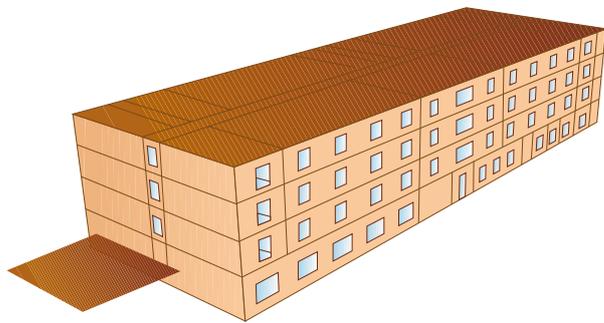
**Figura 50 Distribución provincial del consumo total de energía final para almacén, escenarios BAU y E3.0.**



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

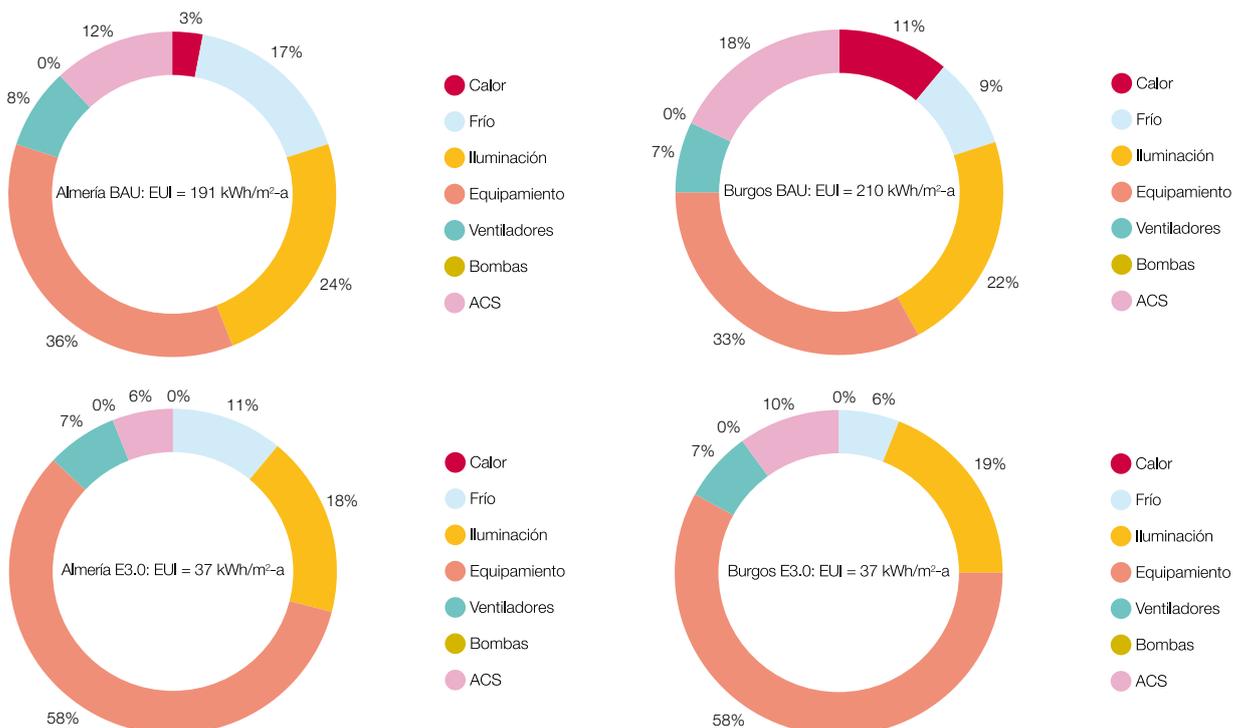
#### 4.6.10 Hotel

Figura 51 Edificio de referencia de hotel. Corresponde al DOE Benchmark. Área climatizada = 4.014 m<sup>2</sup>.



En la figura 52 se muestra la estructura de la demanda final de energía en dos emplazamientos climáticos extremos, Almería y Burgos, para los contextos BAU y E3.0. En el contexto BAU esta tipología de edificios tiene un gran consumo en equipamientos e iluminación, si bien en ambas provincias los requerimientos de climatización tienen una contribución similar en la estructura de la demanda. La demanda de energía total en Burgos es de 210 kWh/m<sup>2</sup> -a y en Almería de 191 kWh/m<sup>2</sup> -a. En el contexto de Eficiencia se acentúa mucho más la contribución de los equipamientos al consumo energético que en ambas provincias representa un 58% al disminuir la demanda de climatización y la de iluminación y ACS. La demanda de energía total se reduce y es igual a 37kWh/m<sup>2</sup> -a en ambos emplazamientos.

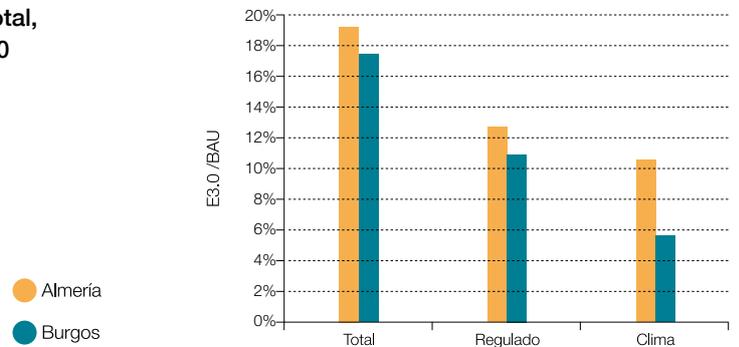
Figura 52 Estructura de la demanda final de energía para hotel en los emplazamientos climáticos extremos de Almería y Burgos para el contexto BAU y E3.0.



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

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

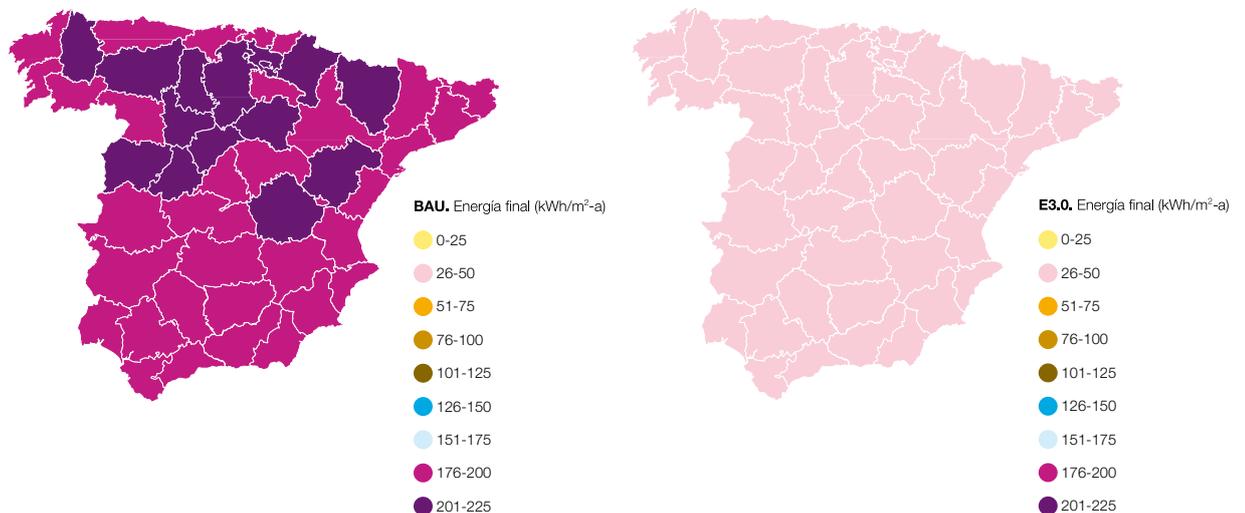
**Figura 53 Fracción de consumo de energía total, regulada y de climatización del contexto E3.0 respecto al contexto BAU. Hotel.**



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

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

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



## 4.7

### Escenarios de demanda energética totales

En este punto se recogen los escenarios totales E3.0, y se comparan con los BAU, en su forma final<sup>26</sup>. Los resultados se presentan en términos de energía final<sup>27</sup> consumida por los edificios, y se descomponen entre electricidad y combustible. Se presentan los resultados desglosados en subsector edificación residencial, subsector edificación terciario y acumulados de todo el sector edificación.

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

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

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

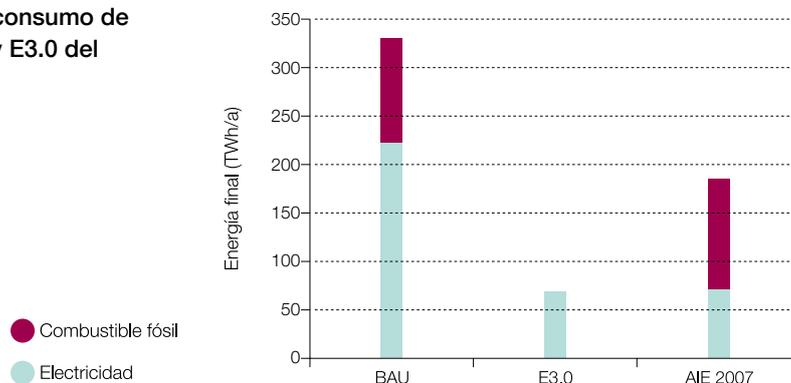
El potencial de ahorro que muestra el escenario E3.0 aquí desarrollado es conservador, y con una buena práctica de la ingeniería bioclimática y de sostenibilidad aplicada al desarrollo de cada uno de los nuevos edificios, y una mayor incidencia del urbanismo bioclimático, se podrían alcanzar mayores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

#### 4.7.1 Edificación residencial

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

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

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



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

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

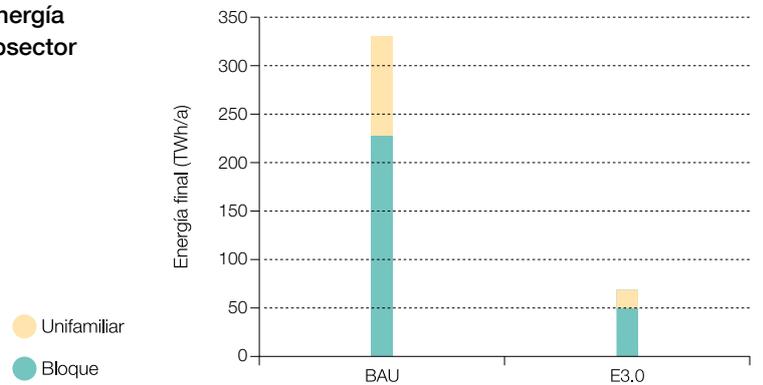
<sup>26</sup> En este caso los escenarios descuentan las aportaciones de la solar térmica autónoma para cobertura parcial de la demanda de ACS.

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

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

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

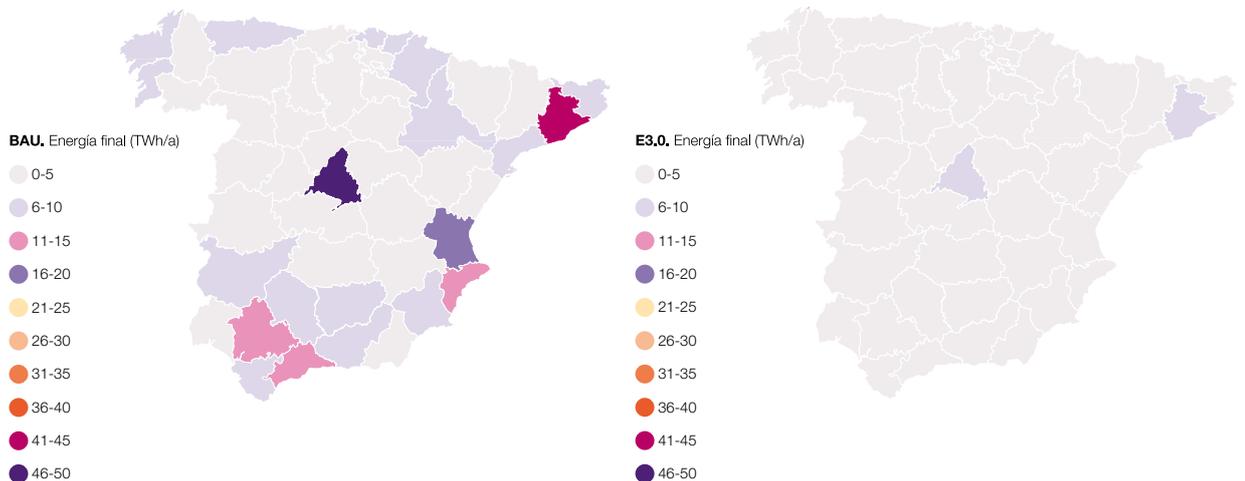
**Figura 56 Reparto modal de consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0 del subsector edificación residencial.**



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

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

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



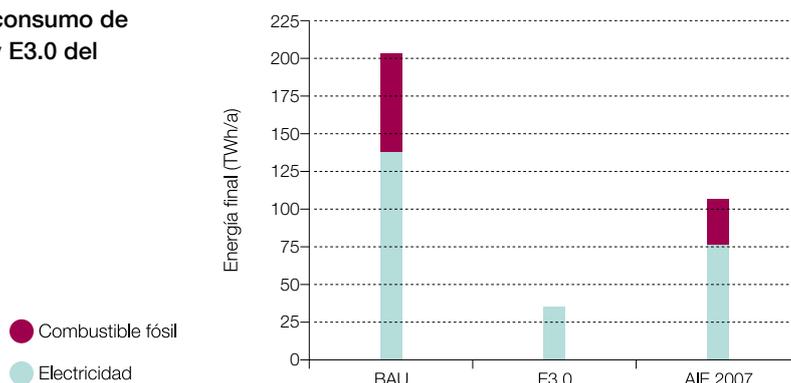
## Resultados finales en el sector edificación: el ahorro alcanzado gracias a la eficiencia es tal que el consumo de energía final en el contexto E3.0 es un 20 % del consumo de energía final en el contexto BAU.

### 4.7.2 Edificación del sector terciario

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

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

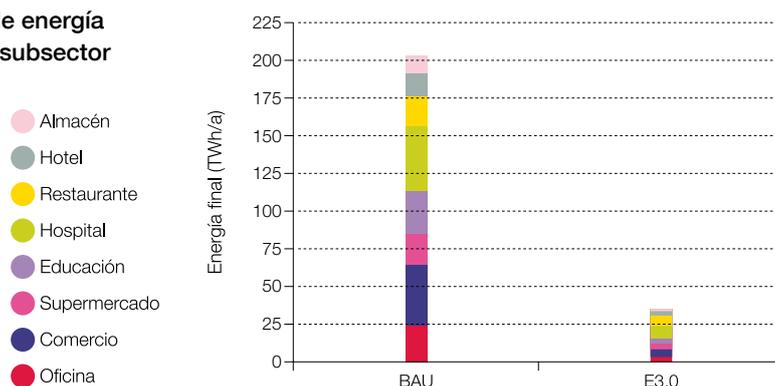
Figura 58 Resultados acumulados de consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0 del subsector edificación terciaria.



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

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

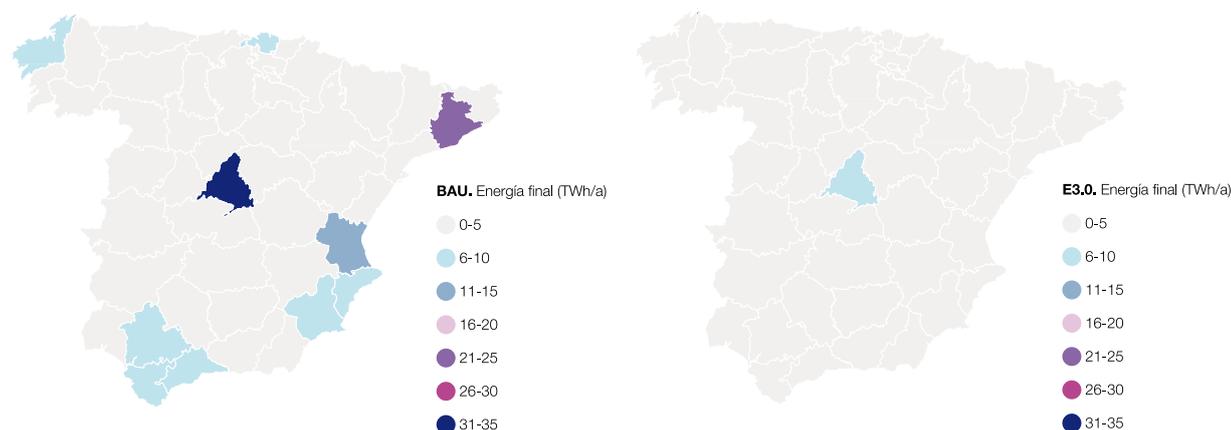
Figura 59 Reparto modal del consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0 del subsector edificación terciario.



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

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

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

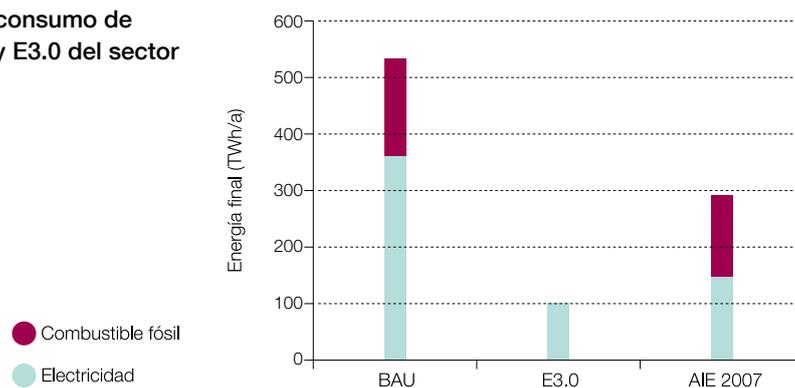


#### 4.7.3 Resultados totales

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

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

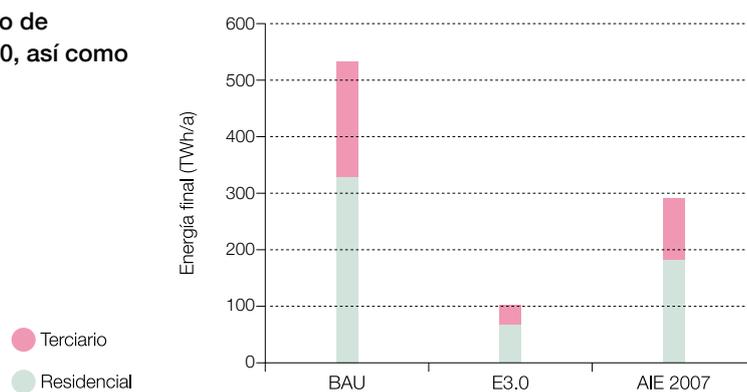
Figura 61 Resultados acumulados de consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0 del sector edificación.



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

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

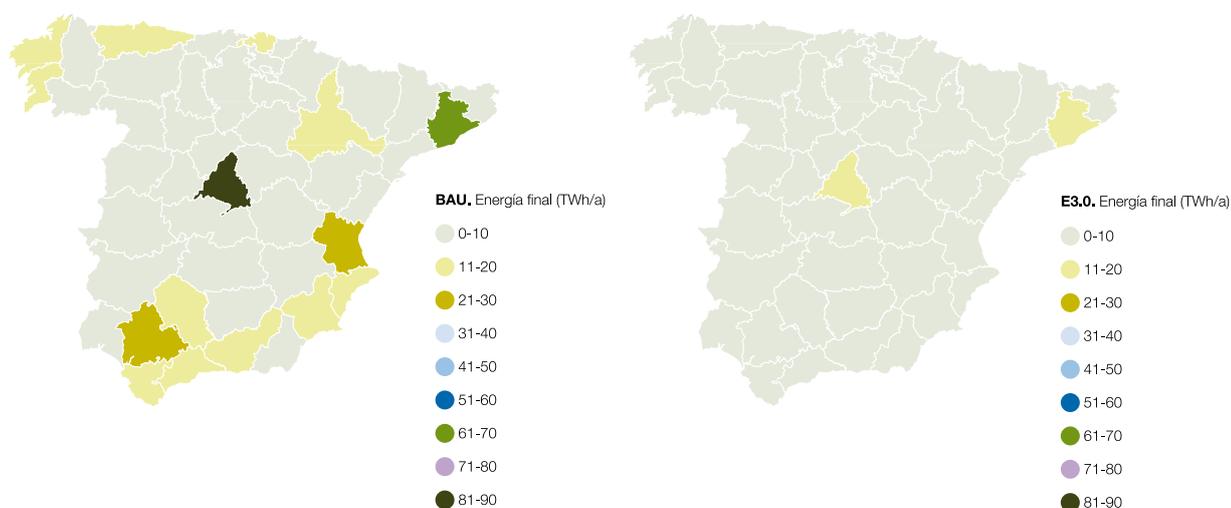
Figura 62 Reparto subsectorial de consumo de energía final para los contextos BAU y E3.0, así como para 2007.



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

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

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



## 4.8

### Escenarios de transición

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

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

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

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

Figura 64 Escenario de evolución del consumo de energía final del conjunto del parque edificatorio para los tres escenarios de transición desde el contexto BAU al E3.0 considerados.

