



**Estimación del efecto de la rehabilitación  
energética en la salud de las personas.  
Enfoque económico.**

**Título:** Estimación del efecto de la rehabilitación energética en la salud de las personas

**Autores:** Joana Ortiz y Jaume Salom

**Grupo:** ECOS – Eficiencia Energética: Sistemas, Edificios y Comunidades.

**Contacto:** [jortiz@irec.cat](mailto:jortiz@irec.cat)

**Fecha:** Julio 2016

**Referencia:** Rehabilitación energética, salud, coste-beneficio

**Trabajo financiado por la Fundación La Casa que Ahorra**



## **Agradecimientos**

Queremos agradecer a los investigadores de la Agencia de Salud Pública de Barcelona, Marc Marí-Dell'Olmo y Andrés Peralta, así como a Xavier Basagana de l'Institut de Salut Global Barcelona (ISGlobal) por su disponibilidad y sus aportaciones al estudio.



## Índice

1.	Resumen ejecutivo .....	4
2.	Introducción .....	8
3.	Vivienda y salud .....	9
3.1.	Temperaturas frías .....	10
3.1.1.	Mortalidad: Tasa de Mortalidad Adicional de Invierno .....	10
3.1.2.	Morbilidad .....	12
3.2.	Altas temperaturas. Sobrecalentamiento .....	13
3.3.	Humedades y hongos .....	14
3.4.	Calidad del aire interior .....	14
3.5.	Ruido .....	16
4.	Eficiencia energética y salud .....	18
5.	Metodología y alcance del estudio .....	21
6.	Vivienda en España .....	25
7.	Salud en España .....	33
8.	Impacto de la rehabilitación energética .....	37
8.1.	Impacto energético .....	37
8.2.	Impacto sobre la salud .....	39
8.3.	Evaluación económica .....	41
9.	Conclusiones .....	47
10.	Referencias .....	49

## 1. Resumen ejecutivo

En la última década ha aumentado el interés por conocer la relación existente entre salud y condiciones inadecuadas de la vivienda, así como la rehabilitación energética puede ser una medida de mejora de dichas condiciones. Existen numerosos estudios que establecen de forma clara cómo diferentes problemas o patologías de las viviendas pueden tener una influencia sobre la salud, llegando incluso a aumentar la mortalidad. Algunas de estas problemáticas están relacionadas con temperaturas frías en invierno, altas temperaturas en verano, problemas de humedades y hongos, bajos niveles de calidad del aire y altos niveles de ruido. Los estudios existentes demuestran que las viviendas que sufren alguna de las problemáticas citadas no son casos aislados, si no que pueden llegar a representar una fracción importante del stock de viviendas. A nivel Europeo, alrededor del 15% de las viviendas tienen problemas de humedades, el 10% de hongos y el 22% padecen problemas de ruido. En relación a la calidad del aire, numerosas ciudades Europeas superan los límites de calidad del aire exterior, lo cual tiene una repercusión directa sobre la calidad del aire interior, además de los propios contaminantes interiores. La siguiente tabla muestra de forma genérica las principales causas y consecuencias existentes entre las condiciones ambientales de la vivienda y la salud de las personas.

<b>Vivienda</b> <i>Causa</i>	→	<b>Salud</b> <i>Consecuencia</i>
Temperatura fría en invierno	→	Tasa de mortalidad adicional de invierno Hipertensión y otras enfermedades cardiovasculares Enfermedades respiratorias como asma, bronquitis crónica y enfermedad pulmonar obstructiva crónica.
Altas temperaturas en verano	→	Tasa de mortalidad adicional de verano Enfermedades circulatorias Enfermedades respiratorias
Humedades y hongos	→	Enfermedades respiratorias como irritación, alergias, infecciones y asma
Calidad del aire interior	→	Problemas respiratorios Problemas cardiovasculares Cáncer de pulmón
Ruido	→	Enfermedad cardiovascular Deterioro cognitivo Alteración del sueño Tinnitus Incremento de la mortalidad

Sin embargo, a pesar de la clara relación entre salud y vivienda, no existen suficientes estudios que demuestren como una mejora en las condiciones de la vivienda tienen un impacto positivo

sobre la salud. Por lo tanto, y tal y como indica la Organización Mundial de Salud, es necesario continuar profundizando en la temática para obtener la evidencia necesaria que demuestre como una mejora en las condiciones de la vivienda tiene una repercusión sobre la salud de las personas. Algunos aspectos que deben mejorarse de los estudios es que deben cubrir un marco temporal suficientemente largo para poder ver los posibles cambios en la salud de las personas, así como incluir viviendas o áreas con diferentes niveles socioeconómicos. A pesar de dichas limitaciones, existen algunos estudios que relacionan la mejora de la eficiencia energética de las viviendas con la mejora de la salud, en particular centrado en la problemática de las temperaturas frías. Además, tampoco se han encontrado estudios en España que cuantifiquen económicamente el efecto de una mejora en la salud de las personas, asociado a una mejora en las condiciones ambientales de las viviendas.

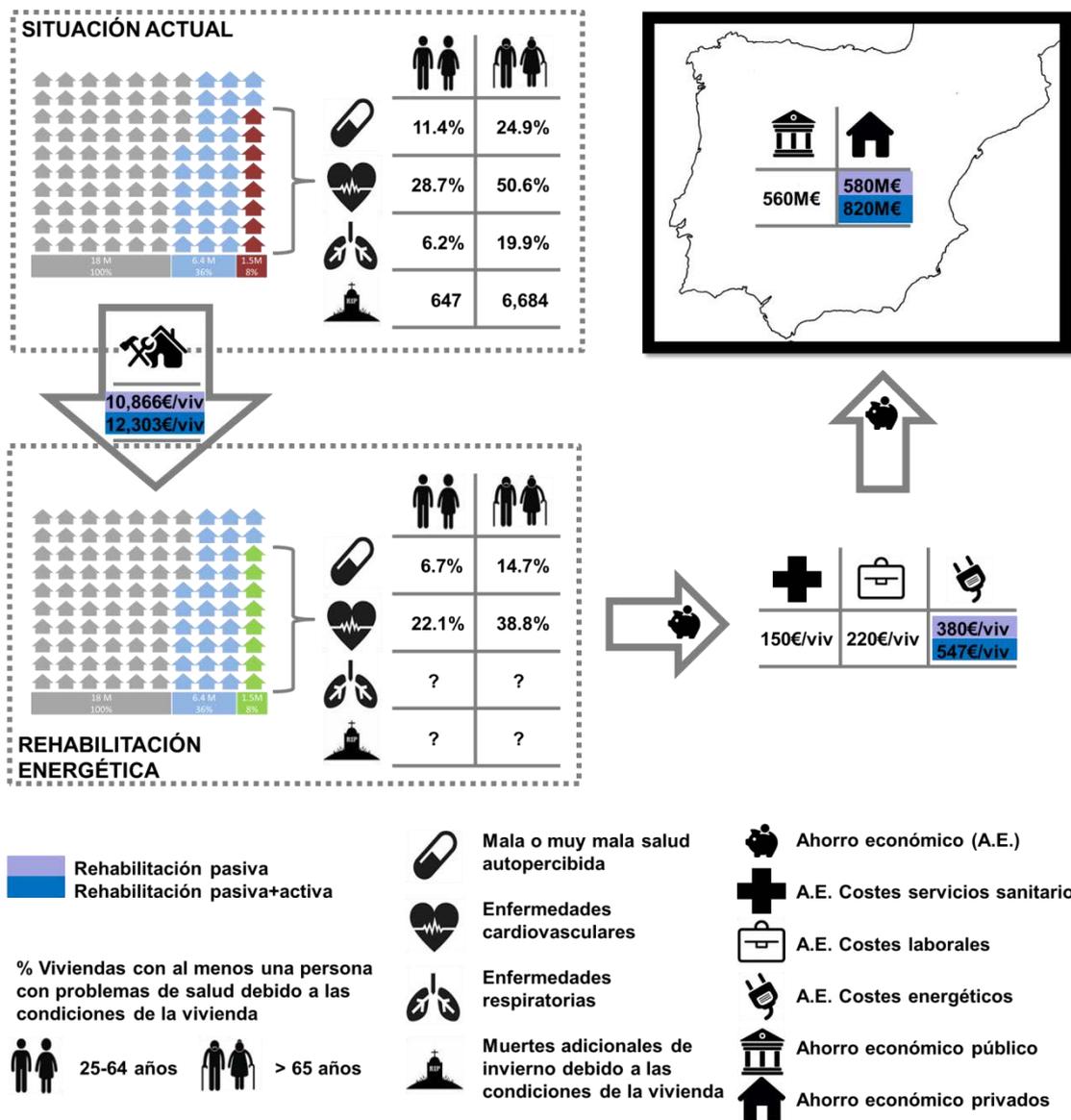
Por consiguiente, esta primera parte del estudio concluye que:

- La relación salud – vivienda está bien establecida y existen numerosos estudios que evidencian que unas malas condiciones en la vivienda ocasionan problemas de salud.
- La relación salud – eficiencia energética necesita ser profundizada, y hacen falta más estudios para determinar su efecto de forma clara y para cada una de las problemáticas que se pueden dar en las viviendas, como serían problemas de ruido, calidad del aire, etc...

En este contexto se ha evaluado a nivel de España cuál sería el impacto sanitario, económico y energético de una mejora de la eficiencia energética sobre el stock de viviendas potencialmente vulnerables a padecer problemas de temperaturas frías. Para ello se han considerado las viviendas construidas en los años 60-80, las cuales representan el 36% de las viviendas en España y se caracterizan por tener unos niveles bajos de eficiencia energética. De dichas viviendas, se han seleccionado las que debido a limitaciones económicas tienen riesgo a padecer temperaturas frías en invierno. Para seleccionar estas viviendas, se ha utilizado la definición de pobreza energética, que marca el 10% de los ingresos netos como cantidad máxima aceptable para cubrir los costes energéticos. Las viviendas construidas en el periodo 60-80 con riesgo a padecer temperaturas frías representa el 8% de viviendas en España (1.5 millones de viviendas).

En la siguiente figura se sintetizan los principales resultados. Se proponen dos niveles de rehabilitación energética para ser implementado sobre las viviendas vulnerables (1.5M). El primer paquete de medidas (el paquete pasivo) consiste en la mejora energética de la envolvente de la vivienda, incluyendo aislamiento en la fachada y cubierta, así como interviniendo en las ventanas. El segundo, además de las medidas pasiva, incluye una mejora de los sistemas de calefacción (el paquete pasivo+activo). En la figura se ha representado cual es la situación actual de las familias en términos de salud: mala o muy mala salud autopercebida, problemas cardiovasculares, problemas respiratorios y muertes adicionales en invierno debido a las condiciones de la vivienda (de arriba hacia abajo). Si las viviendas se hubiesen rehabilitado energéticamente, el número de personas con problemas cardiovasculares y con mala o muy mala salud autopercebida sería

inferior. En cuanto al impacto sobre las personas con problemas respiratorios y sobre las muertes adicionales de invierno debido a las condiciones de la vivienda, no es posible estimar cual sería la situación tras la rehabilitación. A continuación, se cuantifica el ahorro económico debido a la rehabilitación energética, en términos sanitarios y laborales para las personas con problemas cardiovasculares, y en términos energéticos. Estos datos se proporcionan a nivel de vivienda media y a nivel de toda España.



- Si se rehabilitan energéticamente 1.5 millones de viviendas construidas en los años 60-80, sería posible evitar que:
  - unas 100,000 personas considerasen que tienen una salud mala o muy mala;
  - unas 120,000 personas no estarían diagnosticadas con problemas cardiovasculares;
  - las familias podrían ahorrarse entre 400-550€ anuales en sus facturas energéticas, lo cual reduciría prácticamente a la mitad los costes energéticos totales de la vivienda;
  - la administración pública se ahorraría unos 370€ por vivienda, en costes sanitarios y laborales.
- Sería posible reducir el número de muertes adicionales de invierno debido a temperaturas frías en la vivienda, que actualmente se encuentra en 650 personas menores de 65 años, y alrededor de 6,700 en personas mayores de 65.
- Con un programa de subvenciones para la rehabilitación energética de las viviendas, en el que la administración pública asuma el 50% de la inversión en rehabilitación:
  - Se reduce la inversión privada a niveles razonables para las familias (5,000 - 7,000€/viv), haciendo la inversión más atractiva con periodos de retorno de unos 13-14 años;
  - La administración pública recupera la inversión en un periodo de 15-18 años sólo debido a la mejora de la salud de las personas. Cabe destacar, que la estimación sobre el impacto de la salud de las personas se ha hecho de forma conservadora:
    - únicamente se han considerado algunos efectos que causan las bajas temperaturas durante el invierno, dejando fuera otras problemáticas y enfermedades;
    - no se han considerado aspectos relacionados con el impacto medioambiental y la mejora de la actividad económica los cuales se conoce que tienen una consecuencia económica positiva.

## 2. Introducción

El objetivo final del estudio es fomentar la rehabilitación energética de los edificios residenciales de España, estimando y poniendo en valor las mejoras del confort y salud de los usuarios que conlleva la rehabilitación. Tradicionalmente, los beneficios de la rehabilitación energética se cuantifican en términos energéticos y económicos, lo cual no es suficientemente atractivo para los usuarios tal y como lo reflejan los bajos niveles de ejecución. En los últimos años se ha demostrado como las condiciones de la vivienda es uno de los mayores determinantes sobre la salud de la población. Por lo tanto es importante cuantificar como gracias a la rehabilitación energética es posible mejora la salud de las personas, y que impacto económico genera para la administración pública así como para los hogares.

Para llevar a cabo el estudio se ha dividido el trabajo en tres partes. Una primera fase donde se ha realizado una recopilación bibliográfica de cuáles son las principales consecuencias sobre la salud por el hecho de vivir en una vivienda con ciertos problemas. La investigación se ha centrado en los problemas asociados a temperaturas frías en invierno, altas temperaturas en verano, humedades y hongos, calidad del aire interior y ruido. La segunda parte de la revisión bibliográfica se centra en recopilar estudios que cuantifican como mejora la salud de las personas gracias a la rehabilitación energética.

Una vez se conoce cuáles son las principales problemáticas y como caracterizarlas, es posible estimar cual es la situación actual en España. Por lo tanto, la siguiente fase del estudio se centra en identificar las viviendas susceptibles a padecer malas condiciones a lo largo del año, así como a caracterizar los problemas de salud de hogares. Por lo tanto, el objetivo de esta fase es conocer cuántas viviendas necesitan ser rehabilitadas energéticamente y cuántos de estos hogares padecen alguna de las enfermedades identificadas.

Finalmente, la última fase del estudio evalúa el impacto de la rehabilitación energética des de tres puntos de vista: energético, sobre la salud de las personas y económico. La evaluación económica cuantifica los costes asociados a los servicios sanitarios y medicamentos, costes laborales debidos a bajas por enfermedad, costes energéticos y por último la inversión necesaria para realizar la rehabilitación económica. El balance económico se realiza des de dos perspectivas, administración pública y hogares, por lo que se plantean diferentes niveles de subvención para realizar la intervención energética.

### 3. Vivienda y salud

Se conoce que un mal acondicionamiento de las viviendas tiene un efecto perjudicial sobre la salud de las personas. En los últimos años, el número de estudios que evidencian sus efectos ha aumentado y la preocupación por este tema es creciente [1]. La Organización Mundial de la Salud (OMS) diferencia 4 ámbitos de la vivienda: la casa, el hogar, el barrio y la comunidad [2]. La casa hace referencia al edificio y sus prestaciones propiamente, teniendo un impacto sobre las condiciones de habitabilidad de la vivienda. El hogar incluye la parte social, cultural y económica de la vivienda y acaba repercutiendo en el uso que se hace de ésta. El barrio incluye el entorno inmediato de la vivienda, así como la comunidad, la población y los servicios del barrio. Cada uno de estos elementos tiene una repercusión directa o indirecta sobre la salud de las personas. En 2005, la OMS organizó una serie de encuentros donde se iniciaron los estudios para cuantificar los efectos negativos sobre la salud, debido a condiciones inadecuadas de las viviendas. Bonnefoy [3] publicó una revisión sobre qué aspectos de las viviendas tienen un efecto perjudicial sobre la salud de las personas, y cuáles son los principales riesgos asociados.

Antes de describir las causas y sus efectos, es importante introducir el concepto de pobreza energética y explicar cómo esta problemática ha sido tratada en el estudio. La pobreza energética es un concepto que surgió en el Reino Unido en los años 70 y refleja la dificultad o incapacidad para mantener la vivienda en condiciones adecuadas de temperatura por causas económicas. Sin embargo, no hay una definición consensuada, así como una metodología de cómo valorar esta situación.

En los últimos años se han realizado diversos estudios, tanto a nivel nacional como regional, para evaluar la situación en España. La Asociación de Ciencias Ambientales (ACA) fueron los primeros en importar este concepto, y ya son varios los estudios que han realizado al respecto [4-6]. En los trabajos realizados por el ACA, la definición utilizada es la siguiente:

“Puede considerarse que un hogar está en situación de pobreza energética cuando es incapaz de pagar una cantidad de energía suficiente para la satisfacción de sus necesidades domésticas y/o cuando se ve obligado a destinar una parte excesiva de sus ingresos a pagar la factura energética de su vivienda.”

Se observa como la pobreza energética está asociada a la dificultad o incapacidad de asumir los costes energéticos para garantizar unas condiciones confortables de temperatura, lo cual, puede tener unas consecuencias en la salud. Sin embargo, la perspectiva del presente estudio es más amplia y no sólo considera las familias que no pueden asumir el gasto económico, sino todas las familias que viven en viviendas que, debido a sus bajos estándares de calidad y eficiencia energética, pueden tener un efecto perjudicial en su salud. Por lo tanto, el punto de partida de este estudio se centra principalmente en el análisis de las condiciones de las viviendas y no el nivel económico de las familias.

Indudablemente, la población con bajos ingresos son las personas que tienen una mayor probabilidad en habitar viviendas en malas condiciones así como de no poder asumir los costes para mantener las condiciones adecuadas. Consecuentemente, tienen un riesgo más elevado en padecer problemas de salud, tal y como concluye en el estudio realizado por la OMS [7]. Dicho estudio evalúa las desigualdades en salud ambiental de los países europeos, entre las cuales se analizan las generadas debido a las condiciones de las viviendas. Cabe mencionar, que las viviendas monoparentales también son un colectivo vulnerable en padecer enfermedades a causa de las malas condiciones de la vivienda.

A continuación se describen los principales efectos que se pueden dar en viviendas con bajos estándares de calidad, desde el punto de vista de la eficiencia energética y la calidad ambiental y por diferentes causas

### 3.1. Temperaturas frías

Los efectos sobre la salud de las personas asociados a temperaturas frías durante los meses de invierno han sido estudiados desde hace décadas. La OMS [7] estima a partir de la Encuesta de Condiciones de Vida del 2009 de Eurostat (EU-ECV), que alrededor del 6.7% de las viviendas en Europa (EU15, incluye los 15 Estados Miembros que formaban parte de la Unión Europea antes de Mayo del 2004) no pueden mantener las viviendas en condiciones adecuadas de temperatura en invierno. Marmot Review Team [8] hacen una recopilación de estudios que muestran la evidencia existente sobre los impactos directos e indirectos en la salud sufridos por vivir en condiciones de temperatura inadecuadas y en condiciones de pobreza energética. Los efectos directos se pueden dividir principalmente en dos: riesgo de mortalidad y el aumento de la morbilidad.

#### 3.1.1. Mortalidad: Tasa de Mortalidad Adicional de Invierno

La Tasa de Mortalidad Adicional en Invierno (TMAI, Excess Winter Death Index en inglés) cuantifica el número de muertes adicionales que ocurren durante los meses de invierno (de diciembre a marzo), en comparación con las muertes que se producen durante el resto del año. La Figura 1, obtenida del estudio realizado recientemente por Fowler et al. [9], representa la TMAI, para 31 países Europeos obtenido a partir de 9 años de datos (2002-2011). Si analizamos el mapa, se puede observar como los países con un clima más templado tienen una TMAI superior que los países con inviernos más severos. Este fenómeno fue detectado previamente por Healy et al. [10], quienes relacionaron el número de Muertes Adicionales en Invierno (MAI) con diversos parámetros, obteniendo que los países con niveles bajos de eficiencia térmica en los edificios son los que presentan TMAI superiores. La OMS [2], tras analizar un conjunto de estudios que trataban la problemática, estima (de forma conservadora) que alrededor del 30% de las TMA son ocasionadas por la exposición a bajas temperaturas en las viviendas. Se considera que una vivienda se encuentra en condiciones adecuadas cuando la temperatura de la vivienda está entre

18 y 24°C [ref WHO 1987], siendo 20°C la temperatura mínima para los grupos vulnerables (se consideran grupos vulnerables las personas mayores y niños, personas enfermas y personas con discapacidad).

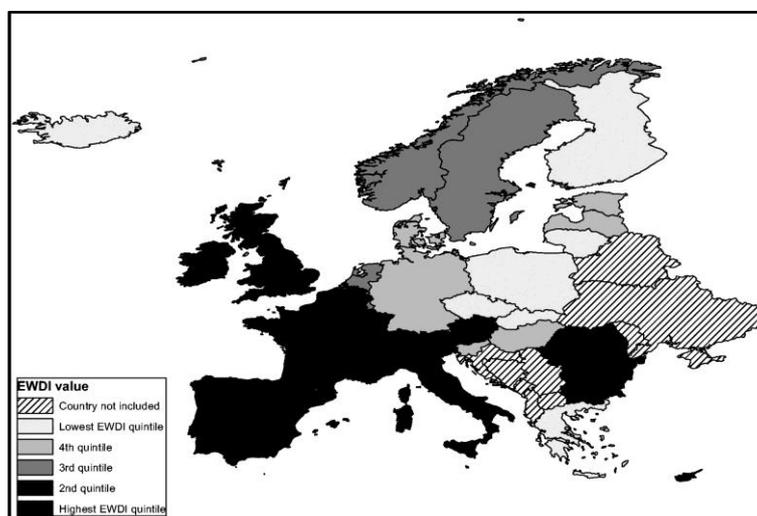


Figura 1 Mapa de Tasa de Mortalidad Adicional de Invierno (TMAI) [9]

La mayoría de las MAI están asociadas a enfermedades cardiovasculares y respiratorias [2, 11]. Alrededor del 40% de las MAI son causadas por enfermedades cardiovasculares [12], como ataques al corazón y derrames cerebrales, y un 30-40% debido a enfermedades respiratorias [2, 12], tales como asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y virus respiratorios. De forma contraria, las muertes atribuibles a hipotermia representan una pequeña proporción de las MAI [13].

Si nos centramos en España, se estima que el número de MAI está alrededor de 7,000, en base al estudio realizado por la ACA [5] y siguiendo la hipótesis de la OMS (30% de las MAI). Dicho estudio [5], analizó las TMAI de cada Comunidad Autónoma junto con las necesidades de calefacción (grados-día de calefacción). La Figura 2 representa esta relación y se observa como las Comunidades Autónomas con una mayor TMAI son las que tienen inviernos más suaves (grados-día de calefacción inferiores). Dicha relación, afirma de forma clara los resultados obtenidos a nivel Europeo [9, 10].

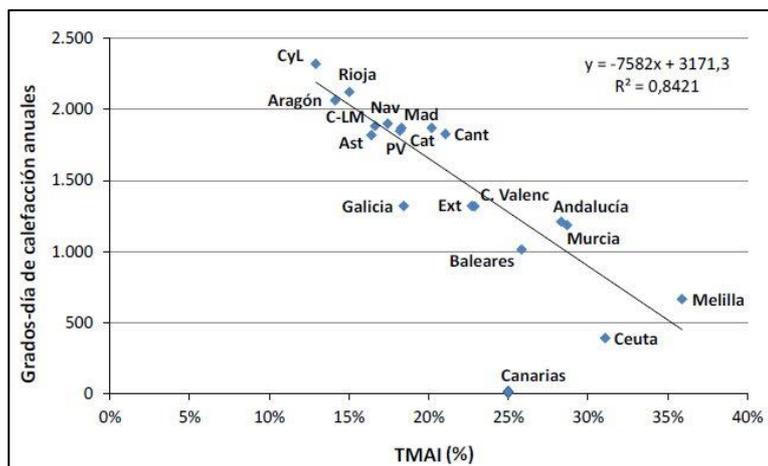


Figura 2 Tasa de Mortalidad Adicional de Invierno relacionado con los grados-día de calefacción por Comunidad Autónoma de España [5]

Wilkinson et al. [11] analizaron datos de alrededor 20,000 viviendas del Reino Unido, con la finalidad de relacionar la TMAI con aspectos socioeconómicos, características de las viviendas, los equipos de calefacción y la temperatura interior. El estudio determinó que los factores que tenían una mayor influencia sobre la temperatura interior, y consecuentemente sobre la TMAI son:

- Antigüedad de la vivienda, siendo las más antiguas, las más frías.
- Existencia y características del sistema de calefacción
- Precio de la energía (calefacción)
- Ingresos de la vivienda
- Tamaño de la vivienda, siendo las viviendas más pequeñas, las más frías.

### 3.1.2. Morbilidad

La morbilidad representa la cantidad de personas que padecen algún tipo de enfermedad en un espacio y tiempo determinado. Es un dato demográfico y sanitario que cumple la función de informar sobre la proporción de personas que sufren una enfermedad. Las principales consecuencias asociadas a temperaturas bajas son enfermedades circulatorias, problemas respiratorios, problemas de salud mental y mala salud en general [2, 8, 9]. Además, las bajas temperaturas pueden tener una influencia, e incluso agravar, gripes y resfriados, así como artritis y enfermedades reumáticas [8]. La cuantificación de cómo las bajas temperaturas aumentan este tipo de enfermedades es difícil de realizar, puesto que no se disponen de datos sistemáticos, a diferencia de la TMAI.

En este estudio, la problemática se ha abordado utilizando diferentes indicadores y analizando su impacto en diferentes grupos vulnerables. Algunos de los indicadores utilizados son presión arterial, ingresos hospitalarios y los días en que los niños no acuden al colegio por enfermedad. Como grupos de riesgo, los estudios se centran mayoritariamente en las personas mayores y los

niños. El estudio realizado por Lloyd et al. [14] demuestra como la mejora de la eficiencia energética de las viviendas provoca una reducción de los problemas circulatorios de las personas que viven en las casas rehabilitadas, así como una mejora general de sus salud, reduciendo el uso de los medicamentos y los ingresos hospitalarios.

### **3.2. Altas temperaturas. Sobrecalentamiento**

Los resultados de la EU-ECV del año 2009 muestra como el porcentaje de viviendas que no pueden mantener una temperatura adecuada en verano es superior que las viviendas que no pueden mantenerlas en invierno (24.2% y 6.7% en países EU15, respectivamente) [7]. El mismo efecto se ve reflejado a nivel nacionales y regionales, siendo 24.8% de viviendas que no pueden mantener una temperatura adecuada en verano, y un 17.9% en invierno. Sin embargo, a pesar de que aparentemente la problemática en verano es peor, la Tasa de Mortalidad Adicional de Verano (TMAV) es mucho inferior que en invierno. Aunque actualmente su impacto sobre la salud de las personas es menor que los problemas que ocasiona el frío, se prevé un aumento a causa del calentamiento global debido al cambio climático [15].

Hay evidencias que muestran como las olas de calor tienen una repercusión sobre la salud de las personas, pudiendo causar muertes adicionales, especialmente entre las personas mayores. El riesgo de sobrecalentamiento debido a condiciones de ola de calor, tiene como principales consecuencias para la salud las relacionadas con problemas circulatorios y respiratorios [8]. Existen estudios que relacionan el aumento de mortalidad y el número de admisiones en los hospitales debido a situaciones de ola de calor [16, 17]. Vandentorren et al. [18] analizaron las consecuencias de la ola de calor del verano del 2003 en Francia, y relacionaron su impacto en la salud de las personas con las características de las viviendas, entre otros factores. Los resultados concluyen que las personas mayores son la población más vulnerable, lo cual se agrava si viven en viviendas sin aislamiento, si la habitación se encuentra bajo la cubierta (ático) o si viven en áreas con importantes efectos de isla de calor. Además, las olas de calor, no sólo ocasionan problemas de salud debido a la exposición a temperaturas elevadas, sino que debido a las condiciones atmosféricas hay ciertos contaminantes que tienden a aumentar su concentración, como sería el ozono, lo que puede provocar impactos adversos sobre la salud.

Existen estudios epidemiológicos que muestran como las temperaturas extremas en verano aumentan la TMAV y el número de admisiones en los hospitales. Sin embargo, la mayoría de los estudios relacionan estos efectos con la temperatura exterior extrema y no con la temperatura interior. Este hecho hace que no haya información suficiente para determinar cuál es el límite de sobrecalentamiento desde el punto de vista del riesgo de la salud de las personas [15]. Además, aspectos como la temperatura mínima nocturna, temperatura máxima diaria, la humedad relativa, la velocidad del aire y el tiempo de exposición, entre otros, son condiciones que determinan cual es el impacto de la ola de calor sobre la salud de las personas.

### 3.3. Humedades y hongos

Las humedades en las viviendas representan unas condiciones inadecuadas de habitabilidad debido a la presencia de daños ocasionados por el agua, infiltraciones en la cubierta, deterioro de ventanas y suelos, moho o condensaciones. De media, alrededor del 15% de la población Europea (EU15) está afectada por problemas de humedad en la vivienda [7], y un 10% por problemas de hongos [2], siendo dichos porcentajes superiores en climas cálidos (20% y 25%, respectivamente). En España los valores son similares, alrededor del 14% de la población tiene humedades y el 8% hongos, en base a los resultados obtenidos en la encuesta “Panel de hogares de la Unión Europea 2001”.

Las principales consecuencias de vivir en entornos con problemas de humedades están relacionadas con un aumento del riesgo de sufrir enfermedades respiratorias, como irritación, alergias, infecciones y asma [3]. Las humedades y hongos son especialmente perjudiciales para la salud respiratoria de los niños. La OMS estima que alrededor del 12% de los niños con asma es debido a la existencia de hongos en sus viviendas, y un 15% a la exposición de humedades [2].

### 3.4. Calidad del aire interior

La calidad del aire interior depende principalmente de dos factores: los contaminantes emitidos en el interior de la vivienda, y los contaminantes que provienen del exterior a través de la infiltración y la ventilación.

La contaminación atmosférica y sus efectos sobre la salud se han estudiado de forma extensa, y ha permitido que se desarrolle una legislación Europea, basada en estudios de la OMS [19], que limita las concentraciones de los contaminantes atmosféricos (Directiva 2004/107/EC y 2008/50/EC, traspuesta a la legislación Española en el Real Decreto RD102/2011). Los contaminantes atmosféricos más significativos y que están regulados en todos los países de la OMS son: Material Particulado ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ), Dióxido de Nitrógeno ( $NO_2$ ), Dióxido de Azufre ( $SO_2$ ), Monóxido de Carbono (CO) y Ozono ( $O_3$ ). De igual modo, se ha estudiado de forma extensa cómo estos contaminantes penetran en los edificios (viviendas, colegios, oficinas...) mediante la infiltración y la ventilación, tratando de establecer una relación entre la concentración exterior y la interior [20-22].

Los contaminantes interiores pueden originarse a partir de los materiales del edificio y del inmueble, de los productos consumidos y a partir de una lista extensa de actividades que se realizan en el interior de los edificios, como serían cocinar, limpiar, caminar y fumar, entre otras. No existe ninguna legislación que regule los niveles máximos de contaminantes en espacios interiores. Recientemente la OMS publicó una guía para la calidad el aire interior [23], donde se describen los principales contaminantes, su origen y sus efectos sobre la salud de las personas. Sin embargo, la variedad de fuentes y procesos que se realizan en el interior de los edificios hace

que el entorno sea muy complejo y sean necesarios más estudios para caracterizarlo de forma completa y establecer una legislación al respecto.

La Tabla 1 describe de forma resumida los principales contaminantes, su origen y las consecuencias que tienen sobre la salud de las personas.

Tabla 1 Descripción de las fuentes de emisión y los efectos sobre la salud de los diferentes contaminantes [23]

Contaminante	Emisión	Fuente	Efecto
PM	Exterior e Interior	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Antropogénicas (tráfico, combustión,...)</li> <li>- Naturales (resuspensión de tierra, partículas de sal marina,...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Problemas respiratorios</li> </ul>
NO <sub>2</sub>	Exterior e Interior	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tráfico</li> <li>- Humo tabaco</li> <li>- Combustión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Problemas respiratorios</li> </ul>
SO <sub>2</sub>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emisiones industriales</li> <li>- Carbón</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Problemas respiratorios</li> <li>- Problemas cardiovasculares</li> </ul>
CO	Exterior e Interior	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tráfico</li> <li>- Humo tabaco</li> <li>- Cocinas de gas</li> <li>- Calderas y estufas</li> <li>- Chimeneas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducción de la tolerancia al ejercicio, debido a exposiciones agudas.</li> <li>- Aumenta los síntomas de la enfermedad isquémica del corazón</li> <li>- Morbilidad cardiovascular</li> <li>- Afecciones respiratorias</li> </ul>
O <sub>3</sub>	Exterior	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reacción química del NO<sub>2</sub> y la radiación de longitud de onda corta procedente principalmente del Sol.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Problemas respiratorios</li> </ul>
Benceno	Exterior e Interior	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tráfico</li> <li>- Humo tabaco</li> <li>- Combustión</li> <li>- Disolventes</li> <li>- Productos de limpieza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Genotoxicidad</li> </ul>

Contaminante	Emisión	Fuente	Efecto
Formaldehido	Interior	- Humo tabaco	- Irritación sensorial - Efectos respiratorios
		- Cocinas de gas	
		- Calderas y estufas	
		- Chimeneas	
		- Muebles y productos de madera (nuevos)	
		- Productos de limpieza	
Naftalina	Interior	- Humo tabaco	- Lesiones en las vías respiratorias
		- Disolventes	
		- Herbicidas	
		- Repelentes de mosquito	
		- Laca para el cabello	
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	Exterior e Interior	- Tráfico	- Cáncer de pulmón
		- Fumar tabaco	
		- Cocinas de gas	
		- Calderas y estufas	
		- Incienso y velas	
Radón	Interior	- Subsuelo	- Cáncer de pulmón
		- Agua corriente	

### 3.5. Ruido

La exposición al ruido es un problema importante de la salud pública, especialmente en zonas urbanas. En base a datos del 2009, un promedio del 22% de los hogares Europeos se ven afectados por ruido de los vecinos o tráfico [7], sin embargo este valor puede cambiar considerablemente de un país a otro (10-35%). Uno de las principales causas de ruido en las viviendas es el ocasionado por el tráfico, seguido del ruido de los vecinos. Se han estudiado los efectos sobre la salud que ocasiona la exposición a elevados niveles de ruido. El ruido actúa como factor desencadenante (estresor) de insomnio o perturbador del sueño durante la noche, y enfado o molestia durante el día. Puede ocasionar problemas cardiovasculares y problemas mentales a largo plazo.

El trabajo [24] realizado por la OMS estima el efecto del ruido ambiental sobre la salud de las personas. Para ello utiliza el parámetro conocido como DALY (Disability-Adjusted life years), años

de vida potencialmente perdidos. El DALY muestra cuales son las enfermedades que producen muerte de manera más prematura. Se expresa como la suma de los años perdidos por muerte prematura, en comparación con la esperanza de vida del país o región, y la suma de los años de vida potencialmente discapacitados. El estudio se centra en enfermedad cardiovascular, el deterioro cognitivo, la alteración del sueño y tinnitus (definido como la sensación de sonido en ausencia de sonido exterior), así como la irritación o enfado. La Tabla 2 detalla las enfermedades, sus causas principales y su impacto sobre la salud de las personas en los países del oeste Europa.

Tabla 2 Enfermedades o síntomas causados por ruido ambiental

Enfermedad / Síntoma	Causa	DALYs
Enfermedades cardiovasculares	Tráfico rodado y aéreo (pocos estudios sobre tren)	61 000 años debido a enfermedades de las arterias coronarias
Deterioro cognitivo en niños	No especificado	45 000 años en niños de 7-19 años
Alteración del sueño	No especificado	903 000 años en poblaciones de > 50 000 habitantes
Tinnitus	Ruido ambiental (las otras causas se han excluido del cálculo)	22 000 años en población adulta
Irritación o enfado	No especificado	587 000 años en poblaciones de > 50 000 habitantes

Recientemente, investigadores del Instituto de Salud Carlos III y de la Universidad Autónoma de Madrid han realizado un estudio donde analizan el efecto de los niveles de ruido que podría tener sobre la mortalidad diaria ocurrida en Madrid a lo largo del período 2003-2009 [25]. Los resultados encontrados indican que existe una relación entre el ruido nocturno en Madrid y por cada incremento de 1dB(A) del ruido nocturno aumentaría la mortalidad por enfermedad isquémica un 2,9%, por infarto de miocardio un 3,5%, un 2,4% para mortalidad por enfermedad cerebrovascular, un 3% para neumonía, un 4,0% para EPOC y un 11% por diabetes.

#### 4. Eficiencia energética y salud

En la sección anterior se ha mostrado como la relación entre vivienda inadecuada y problemas de salud está bien establecida. Existen numerosos estudios que han analizado esta relación desde diversos puntos de vista, obteniendo resultados consistentes y estadísticamente significativos. Por lo tanto, es necesario evaluar qué acciones se deben llevar a cabo para prevenir y mejorar la salud de las personas. En este sentido, Thomson et al. [26, 27] realizaron una revisión bibliográfica donde recopilan y analizan los estudios existentes en los que se evalúa el impacto sobre la salud debido a una serie de intervenciones en las viviendas. Su revisión se divide en dos ámbitos: mejora de la eficiencia energética de las viviendas; y, mejora y regeneración de las viviendas y los barrios.

Si centramos el análisis en el impacto debido a una mejora en la eficiencia energética, la metodología de los estudios existentes es muy diversa. La mayoría de los estudios se centran en áreas deprimidas. Algunos de ellos enfocan el análisis en viviendas con personas mayores, otros evalúan el impacto en los niños, y otros lo hacen a nivel general de la vivienda, incluyendo adultos y niños. Además, algunos de los estudios evalúan viviendas donde al menos una de las personas tiene problemas respiratorios o cardiovasculares. Otra diferencia importante entre los estudios, es el marco temporal en el cual se analizan los efectos en la salud, variando de unos pocos meses hasta varios años. Por último, también existe una diferencia entre las intervenciones de eficiencia energética llevadas a cabo, aunque los estudios analizados incluyen al menos una de las siguientes medidas: aislamiento en la fachada y/o cubierta, e instalación o mejora del sistema de calefacción.

En cuanto a los resultados, las diferencias obtenidas entre estudios también son importantes y no concluyentes. Algunos estudios muestran mejoras, otros no muestran una tendencia clara, y otros reflejan un empeoramiento en la salud. En los estudios en los que el potencial de mejora era mayor, es donde se han observado de forma más clara dichas mejoras. El potencial de mejora se daba ya sea por el estado de la vivienda o por tratarse de grupos vulnerables (viviendas con algún miembro con enfermedad preexistente). Sin embargo, pese a estos resultados no concluyentes, es importante hacer referencia a las conclusiones a las que llega la OMS [2], tras evaluar dichos estudios, donde remarca que la falta de evidencia científica en la mejora de la salud gracias a la mejora de la vivienda no es debido a que no exista dicha relación, sino que son necesarios más estudios para demostrarlo, puesto que la relación entre mala salud y malas condiciones de vivienda está muy bien establecida. A continuación, se detallan algunos aspectos que deben considerarse en futuros estudios:

- Marco temporal: es probable que los impactos en la salud no se observen en un marco temporal corto (6-18 meses), sino que sean necesarios varios años para ver los efectos en la salud de las personas

- Los estudios se centran en áreas socioeconómicamente deprimidas, y esto hace que las malas condiciones de las viviendas no sean el único problema que sufren las personas que viven en estas áreas. Por lo que, difícilmente mejoraran su salud de forma general, solucionando únicamente uno de sus problemas.

En la Tabla 3 se detallan los hallazgos encontrados en los siguientes estudios [28-30]. El impacto de una intervención o tratamiento se evalúa mediante el parámetro estadístico *Odds Ratio*. El *Odds Ratio* es una medida de eficacia que compara un tratamiento o intervención con otro diferente. El *Odds Ratio* es un valor que va de 0 a infinito, siendo 1 el valor neutro. Por ejemplo, en nuestro caso comparamos las viviendas en las que se han aplicado medidas de eficiencia energética con las viviendas que no han sido intervenidos, y el parámetro que evaluaremos es la salud autopercebida, concretamente las persona que la califican de mala o muy mala. Si el *Odds Ratio* es igual a 1, significaría que el número de personas que han valorado mala o muy mala salud es igual en ambos grupos, es decir, no hay diferencias. Si el *Odds Ratio* es mayor a 1, significa que en el grupo intervenido hay más personas que valoran tener una mala salud. Concretamente si el *Odds Ratio* es 2, significa que en el grupo intervenido hay el doble de personas con mala salud, en comparación con el grupo no intervenido. En cambio, si el *Odds Ratio* es menor que 1, la situación es opuesta; en el grupo intervenido hay menos personas con mala salud autopercebida en comparación con el no intervenido. Por ejemplo, si el *Odds Ratio* es 0.5, significa que la mitad de personas declaran tener mala salud en comparación con el grupo no intervenido. Se puede observar como cada *Odds Ratio* viene acompañado con un intervalo de confianza, el cual determina el rango mínimo y máximo donde se encontrarán los efectos de la intervención.

Si analizamos los resultados del estudio de Howden-Chapman et al. realizado en el 2007 [28], observamos como la intervención mejora la salud de las personas, en comparación con el grupo no intervenido (el *Odds Ratio* y sus intervalos de confianza son menores que 1). En el estudio se analizan parámetros subjetivos, como sería la salud autopercebida, el nivel de felicidad y el nivel de vitalidad. Además, evalúan síntomas relacionados con problemas respiratorios. En términos generales, la intervención en eficiencia energética hace que 4-5 de cada 10 personas mejoren los síntomas analizados, así como la salud autopercebida. En su siguiente estudio [29], donde analizaron el efecto de las intervenciones en niños con asma diagnosticada antes de la intervención, los impactos son también positivos. Algunos efectos son claramente positivos, como sería la salud autopercebida; sin embargo, algunos síntomas no presentan resultados decisivos, como sería el trastorno de habla por sibilancia o sibilancias durante el ejercicio. En ambos casos, el *Odds Ratio* es menor que 1, sin embargo el intervalo de confianza es superior a 1. Lo cual significa que en algunos casos, su situación era igual o peor que en el grupo no intervenido. Por último, el estudio de Platt et al. [30] evidencia que tras dos años de intervención de rehabilitación, hubo menos personas que fueron diagnosticadas por primera vez con hipertensión o problemas de corazón.

Tabla 3 Resumen de los efectos en la salud debido a una mejora en la eficiencia energética de las viviendas, comparando el grupo intervenido con un grupo de control (Odds Ratio).

<b>Howden-Chapman et al., 2007 [28]</b>			
Personas analizadas en la intervención	Adultos y niños		
Tiempo desde la intervención	< 1 año		
	<i>Odds Ratio</i>	Intervalo de confianza 95%	
<b>Salud general</b>			
Muy mala o mala salud autopercebida	0.59	0.47	0.74
<b>Problemas respiratorios</b>			
Flemas por la mañana	0.64	0.52	0.78
Sibilancias en los últimos 3 meses	0.57	0.47	0.70
Resfriado / fiebre	0.54	0.43	0.69
Trastornos del sueño por sibilancias	0.57	0.40	0.81
Trastorno del habla por sibilancias	0.51	0.31	0.85
<b>Salud mental</b>			
Baja felicidad (SF-36)	0.56	0.41	0.77
Baja vitalidad (SF-36)	0.51	0.41	0.64
<b>Howden-Chapman et al., 2008 [29]</b>			
Personas analizadas	Niños con asma diagnosticada		
Tiempo desde la intervención	4-5 meses		
	<i>Odds Ratio</i>	Intervalo de confianza 95%	
<b>Salud general</b>			
Muy mala o mala salud autopercebida	0.48	0.31	0.74
<b>Problemas respiratorios</b>			
Trastornos del sueño por sibilancias	0.55	0.35	0.85
Trastorno del habla por sibilancias	0.69	0.4	1.18
Tos seca por la noche	0.52	0.32	0.83
Sibilancias durante el ejercicio	0.67	0.42	1.06
<b>Platt et al. 2007 [30]</b>			
Personas analizadas	Adultos, mayoritariamente mayores de 60 años		
Tiempo desde la intervención	1-2 años		
	<i>Odds Ratio</i>	Intervalo de confianza 95%	
<b>Problemas cardiovasculares</b>			
Primer diagnóstico de hipertensión	0.77	0.61	0.97
Primer diagnóstico de enfermedades del corazón	0.69	0.52	0.92

## 5. Metodología y alcance del estudio

Esta sección presenta el alcance y la metodología del estudio que se implementa para estimar el impacto en la salud de las personas y el impacto económico debido a una mejora de las condiciones térmicas de la vivienda a través de la rehabilitación energética. El estudio analiza los datos de España, excluyendo las ciudades de Ceuta y Melilla. Debido a la falta de estudios que evidencien de forma clara la mejora de la salud en relación a intervenciones en la vivienda que resuelvan problemas de temperaturas cálidas, humedades y hongos, calidad del aire interior y ruido, se analizan únicamente aquellas intervenciones de eficiencia energética que mejoran las condiciones de temperatura interior en invierno. Por lo tanto, el alcance del estudio se limita a cuantificar económicamente los problemas de salud ocasionados por temperaturas frías, así como las muertes adicionales en invierno (MAI). En conclusión, la metodología es conservadora en tanto no cuantifica las mejoras asociadas a la resolución de problemas asociados a altas temperaturas, humedades y hongos, calidad del aire interior y ruido, aunque se mejoren gracias a las actuaciones de rehabilitación constructiva.

La metodología consta de tres partes diferenciadas: vivienda, salud e impacto económico. Por lo que hace referencia a la vivienda, es necesario caracterizar el stock de viviendas existentes en España, des del punto de vista energético y de confort térmico de los usuarios. A partir de la caracterización se deben seleccionar aquellas viviendas que debido a sus propiedades constructivas y su baja eficiencia energética provocan unas condiciones inadecuadas de temperatura en invierno. Sin embargo, no todas estas viviendas se encuentran en condiciones inadecuadas, puesto que en muchos casos se utilizan los sistemas de calefacción para contrarrestar las deficiencias constructivas y acondicionar la vivienda. Por lo tanto, con la finalidad de seleccionar las viviendas que no pueden garantizar las condiciones de confort en invierno, se compara el coste energético con los ingresos netos de las familias (en adelante se habla de ingresos o renta para referirse a los ingresos o renta netos). Se considera, en base a la definición de pobreza energética, que los costes energéticos totales (no sólo calefacción), no deben ser superiores al 10% de los ingresos de la vivienda. Consecuentemente, todas aquellas familias que deberían gastar más del 10% de sus ingresos en energía, han sido consideradas como susceptibles de no poder garantizar temperaturas confortables en invierno. El proceso seguido está representado en la Figura 3.



Figura 3 Metodología para seleccionas las viviendas analizadas en el estudio

Una vez caracterizado y seleccionado el conjunto de viviendas que incluiremos en el estudio, es necesario determinar la salud de las personas. En base a los estudios descritos anteriormente, las variables analizadas para describir la salud de las personas son: salud autopercibida, porcentaje de personas con problemas o enfermedades crónicas o de larga evolución padecidas en los últimos 12 meses y diagnosticadas por un médico, y número de defunciones. Dichos datos se han obtenido de la Encuesta Europea de Salud del 2014 y de la Estadística de defunciones del 2013 y 2014, del Instituto Nacional de Estadística. Estos datos han sido tratados según nivel de renta y grupos de edades. Los detalles relativos a las enfermedades analizadas y las fuentes de información se detallan en el capítulo 7.

Para definir la evaluación económica se ha seguido la guía desarrollada por García-Altés et al. [31], la cual identifica una serie de técnicas y etapas que se deben establecer para realizar una evaluación económica completa. La Tabla 4 describe brevemente las principales características de las técnicas de evaluación económicas utilizadas en el ámbito sanitario. En este estudio se implementará un análisis coste-beneficio. Los análisis coste-beneficio miden los costes y los efectos sobre la salud en términos monetarios, por lo que permite comparar alternativas o intervenciones muy diferentes.

Tabla 4 Características de la técnica de evaluación económica [31]

Técnica de análisis	Medida de costes	Medida de efectos	Aplicaciones
Análisis de minimización de costes	Unidades monetarias	Se supone que todas las alternativas tienen la misma efectividad	Comparar diferentes alternativas con un mismo objetivo de salud y una misma efectividad, pero con distinto coste
Análisis coste-efectividad	Unidades monetarias	Unidades de salud	Comparar los efectos positivos y negativos de dos o más alternativas con un mismo objetivo de salud
Análisis coste-utilidad	Unidades monetarias	AVAC (Año de vida ajustado)	Comparar los efectos positivos y negativos de dos o más alternativas con un mismo objetivo de salud, expresando la efectividad en AVAC
Análisis coste-beneficio	Unidades monetarias	Unidades monetarias	Comparar los efectos positivos y negativos de alternativas con objetivos similares o ampliamente divergentes

Una vez conocemos cual es la técnica es necesario completar una serie de etapas para definir el alcance del estudio económico. La Tabla 5 sintetiza cada una de las siguientes etapas:

1) Definición del problema o pregunta a resolver

La evaluación económica que planteamos tiene como objetivo valorar el impacto económico de la rehabilitación energética de las viviendas como medida de prevención de enfermedades cardiovasculares y muertes prematuras adicionales de invierno. El estudio no pretende

cuantificar el ahorro económico debido a una mejora en la salud de las personas, sino el número de casos que se podrían haber evitado gracias a la rehabilitación energética.

## 2) Perspectiva del análisis

El punto de vista del estudio incluye la perspectiva de los ocupantes de las viviendas, así como de la administración pública, puesto que el análisis económico incluye costes que repercuten sobre ambos sectores/actores.

## 3) Alternativas comparadas

Las alternativas analizadas incluyen dos intervenciones de eficiencia energética y la opción de no intervenir. Una de las intervenciones, la rehabilitación energética pasiva, incluye medidas de rehabilitación energética que actúan sobre la envolvente del edificio, mejorando sus características térmicas, reduciendo la demanda de calefacción y mejorando las condiciones de confort térmico. La segunda intervención, la rehabilitación energética pasiva + activa, además de mejorar las características térmica de la vivienda, actúa sobre el sistema de calefacción aumentando su rendimiento y reduciendo así el consumo energético.

## 4) Horizonte temporal

El horizonte temporal es de 1 año, es decir, se consideran los costes generados a lo largo de un año: sanitarios, laborales y energéticos.

## 5) Costes incluidos

Los costes incluidos pueden dividirse en directos e indirectos. Los costes directos son aquellos directamente atribuibles a la aplicación de una intervención o tecnología, como serían los costes sanitarios de medicamentos, etc. Los costes indirectos son la consecuencia de la aplicación o no de la intervención sobre la población, los cuales podrán incluir costes debido a la pérdida de productividad, costes de desplazamiento, etc.... En este caso, se incluyen los siguientes costes:

- Costes directos: costes sanitarios, costes de farmacia, costes de la rehabilitación energética y costes energéticos.
- Costes indirectos: costes debidos a la incapacidad temporal por motivos de salud

## 6) Aplicación de una tasa de descuento

Todos los costes analizados se han ajustado al 2014 a través del IPC.

## 7) Medida de resultados

El resultado principal de la valoración económica es el ahorro económico generado gracias a la intervención, así como el periodo de retorno de la inversión.

## 8) Análisis de sensibilidad

El objetivo de este tipo de análisis es comprobar cómo variarían los resultados del estudio si cambiaran los valores de las variables consideradas. En este caso, se realiza el análisis de sensibilidad variando la eficiencia de la rehabilitación energética en relación a la salud de las personas.

Tabla 5 Definición de la evaluación económica: análisis coste-beneficio

Etapas de valoración económica	
Definición del problema / pregunta a resolver	Analizar la eficiencia de la rehabilitación energética, en relación a la salud de las personas.
Perspectiva del análisis	Sociedad y administración pública (salud y vivienda)
Alternativas comparadas	1) Rehabilitación energética pasiva 2) Rehabilitación energética pasiva + activa 3) No intervención
Horizonte temporal	1 año
Costes incluidos	Costes directos: Costes sanitarios, costes de medicamentos, costes de la rehabilitación energética y costes energéticos. Costes indirectos: pérdidas debidas a la incapacidad temporal por motivos de salud
Aplicación de una tasa de descuento	Todos los costes analizados se han ajustado al 2014 a través del IPC
Medida de resultados	Euros, retorno de la inversión
Análisis de sensibilidad	Impacto de la rehabilitación energética sobre la salud

## 6. Vivienda en España

Existen diversos estudios a nivel nacional y regional que clasifican el parque edificios residenciales en tipologías de edificios, lo cual permite hacer un diagnóstico de la situación actual desde el punto de vista energético. Todos ellos utilizan como principales criterios de clasificación si la vivienda es unifamiliar o se trata de un edificio de viviendas (en adelante, plurifamiliar), así como su año de construcción. La Figura 4 muestra los datos estadísticos referentes al número de viviendas principales por Comunidad Autónoma (Censo de Población y Vivienda del 2011). Se puede observar como las Comunidades Autónomas con un mayor número de viviendas son Andalucía, Cataluña, Comunidad de Madrid y Comunidad Valenciana. Además, si analizamos el porcentaje de viviendas por año de construcción, se observa como alrededor del 50% están construidas antes del 1980. En el año 1979 se aprobó la primera normativa edificatoria (NBE-CT-79, [32]) que exigía un mínimo de características térmicas en los edificios de nueva construcción. Esto significa que alrededor de la mitad de las viviendas españolas (55%) están construidas sin ningún tipo de requisito térmico, lo cual implica un gran potencial de mejora energética.

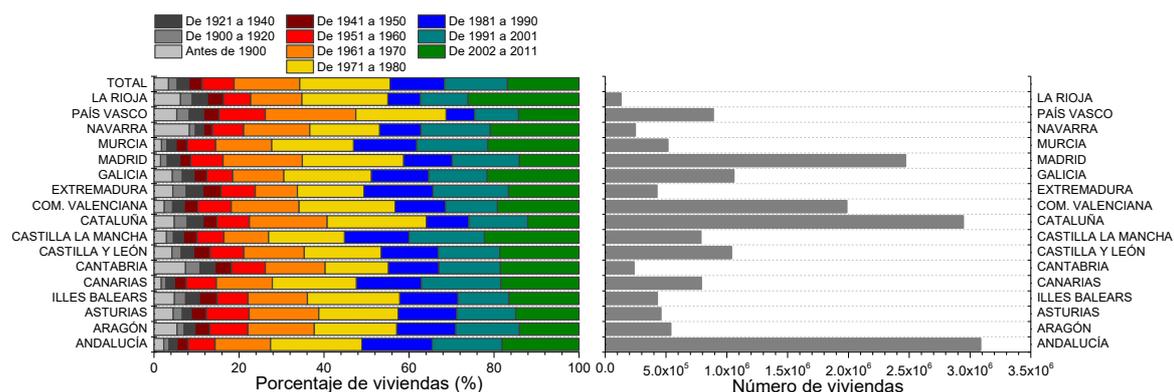


Figura 4 Distribución de las viviendas principales en España por Comunidad Autónoma y año de construcción (Fuente: Censos de Población y Viviendas 2011)

En cuanto a los estudios que se han realizado al respecto, el proyecto “SECH-SPAHOUSEC” [33] hizo una primera aproximación donde se analizó el consumo energético del sector residencial en España. En este estudio se clasifican las viviendas de forma genérica en viviendas unifamiliares y plurifamiliares (30% y 70%, respectivamente), sin diferenciar su año de construcción y por lo tanto sus características constructivas. Sin embargo, se realizó un extenso trabajo en caracterizarlas desde el punto de vista de los equipos de calefacción y refrigeración, así como los electrodomésticos que hay en cada una de ellas y de su consumo asociado. Los resultados se presentan por tipología de edificio, así como por zona climática diferenciando “Atlántico Norte”, “Continental” y “Mediterráneo”.

Posteriormente, Cuchí y Sweatman [34] realizaron un estudio donde profundizaron en las tipologías edificatorias. En este estudio se clasificaron según año de construcción y localización,

haciendo posible detectar los *hotspots* (tipologías con un mayor potencial de mejora, desde el punto de vista energético y de gestión de la rehabilitación). Se identificaron 10 *hotspots*, los cuales representan el 75% de las viviendas construidas antes del 2001. Los *hotspots* se definen en base al año de construcción, diferenciando entre <1960, 1960-1980 y 1980-2001, unifamiliar y plurifamiliar, y dimensión del núcleo urbano/rural. Entre los *hotspots*, cabe destacar el edificio plurifamiliar construido entre los años 1960-1980 puesto que representa alrededor del 36% de las viviendas en España (en base al censo del 2001, 30% en base al censo del 2010).

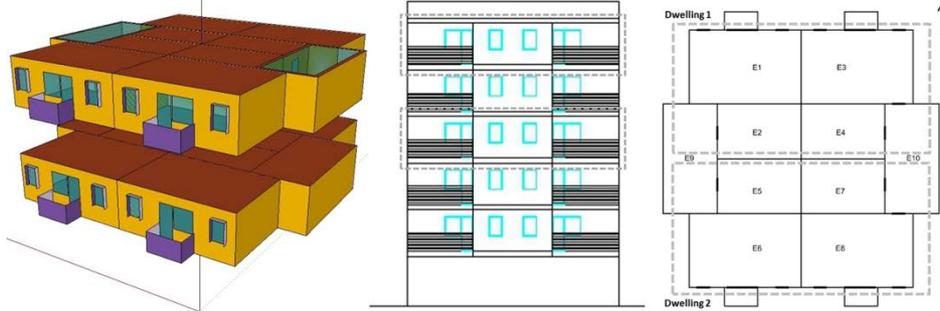
De igual modo, el Ministerio de Fomento [35] realizó un estudio donde como punto de partida seleccionó las tipologías edificatorias mayoritarias de España. En el estudio identificó los diferentes periodos constructivos existentes en España, mostrados en la Tabla 6. Para las tipologías mayoritarias, se evalúa el comportamiento térmico en seis climas representativos de España ( $\alpha 3$ , A3, B4, C2, D3 y E1, siguiendo las zonas climáticas propuestas por el Código Técnico de la Edificación [36]). Nuevamente, entre las tipologías estudiadas encontramos la tipología de viviendas construidas en el periodo 1960-1980, siendo la mayoritaria en España.

Tabla 6 Periodos constructivos en España [35]

Año	Descripción
< 1900	Construcción tradicional
1901-1940	Tradicional / Primeros experiencias de movimientos modernos
1941-1960	Primer periodo tras la guerra civil (reconstrucción)
1960-1980	Segundo periodo tras la guerra civil (expansión)
1980-2006	Primera regulación térmica (NBE-CT-79)

Por lo tanto, y dado el consenso que existe en relación a la tipología edificatoria mayoritaria y que a su vez representa un gran potencial de mejora, se establece como tipología de estudio los edificios plurifamiliares construidos en el periodo 1960-1980 (tipología 60-80, en adelante). Dichos edificios se analizan en cuatro zonas climáticas (C2, D3, E1, B4), las cuales coinciden con las analizadas por el estudio del Ministerio de Fomento. El consumo energético de la tipología 60-80 para cada uno de los climas, se estima en base al estudio OptiHab, realizado en el marco del proyecto Europeo MARIE [37], donde se evaluó de forma detallada dicha tipología. Se estima el consumo energético de las viviendas utilizando herramientas de simulación dinámica, concretamente TRNSYS, lo cual permite introducir las características del edificio y su uso de forma muy detallada. Existen un conjunto de trabajos donde se explica las hipótesis utilizadas [38-40] así como los resultados principales. A modo de resumen, en la siguiente ficha (Figura 5) se describen las características de la tipología 60-80.

Tipo de edificio: Bloque de apartamentos entre medianeras  
 Año de construcción: 1951-1980  
 Nº plantas: planta comercial + 5  
 Nº viviendas: 10  
 Superficie de la vivienda: 78.8 m<sup>2</sup>



**Características del edificio**

Envolvente	Espesor m	U-value W/m <sup>2</sup> K	Sistemas	Descripción	Eficiencia	
Fachada	0.23	1.22	Calefacción y ACS	Caldera de gas convencional (24kW)	$\eta = 0.75$	
Cubierta	0.34	1.17				
Ventana	U-value W/m <sup>2</sup> K	g-value -	Refrigeración	Aire acondicionado convencional (split)	COP = 2.0	
	Aluminio sin rotura de puente térmico	5.68	0.85	Iluminación	Lámpara fluorescente compacta (2 W/m <sup>2</sup> )	Eficacia= 0.6
Doble vidrio 4/6/4	Electrodomésticos			Nevera, lavadora, lavaplatos, microondas, cocina de gas, horno eléctrico, televisión y PC	Medio	
Protecciones solares	Persianas		Estanqueidad ( $n_{50}$ )		7.5	
Puentes térmicos	Pilar en pared	Pilar en esquina	Oberturas	Fachada con forjado	Fachada con cubierta	Fachada con voladizo
Descripción						
Conductividad térmica lineal ( $\Psi$ , W/mK)	0.81	0.60	0.33	1.51	0.49	1.51

Figura 5 Características básicas de la tipología 60-80 utilizadas para estimar el consumo energético.

A partir de las simulaciones dinámicas obtenemos el consumo energético necesario para cubrir las necesidades térmicas de la vivienda y garantizar unas condiciones de confort adecuadas, así como el consumo total de la vivienda (calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, iluminación y equipos domésticos). La Tabla 7 muestra la demanda energética para cada uno de los usos energéticos de la vivienda y en función del clima analizado. A partir de la demanda, e implementando los equipos de calefacción, agua caliente y refrigeración descritos en la ficha de la tipología, se obtiene el consumo energético de electricidad y gas natural. La Tabla 8 detalla el consumo energético así como sus costes asociados. Además, se muestra que fracción del consumo de gas natural se utiliza para cubrir la calefacción de la vivienda. Para el cálculo de los costes energéticos, se han utilizado las tarifas descritas en la Tabla 9, las cuales incluyen el precio por energía consumida y la tasa fija anual.

Tabla 7 Demanda energética anual según uso energético y clima

kWh/m <sup>2</sup>	Calefacción	Refrigeración	Agua Caliente	Iluminación	Electrodomésticos*
B4	31.7	12.2	16.1	2.8	23.2 + 6.7
C2	60.9	1.1	18.7	2.8	23.2 + 6.7
D3	98.9	3.2	20.6	2.8	23.2 + 6.7
E1	98.2	0	21.9	2.8	23.2 + 6.7

\* Electricidad + gas natural

Tabla 8 Consumo energético según tipo de energía y clima (costes incluyen IVA del 21%)

	Gas natural		Electricidad		Coste total		
	kWh/a	€/a	Calefacción	kWh/a	€/a	Sin IVA	Con IVA
B4	77.2	445		37.2	695	942	1,140
C2	116.8	533	70%	27.1	470	1,003	1,214
D3	175.3	776	78%	29.1	491	1,267	1,533
E1	176.1	943	77%	26.1	556	1,239	1,499

Tabla 9 Tarifa eléctrica y de gas natural (sin IVA)

Tarifa	Gas natural	Electricidad
Precio energía (€/kWh)	0.05274	0.13150
Tasa fija (€/a)	47.4	189.2

Una vez tenemos caracterizadas las viviendas, sus consumos y los costes asociados para mantener unas condiciones de confort, es necesario caracterizar las personas que viven en ellas. Para ello se ha analizado la Encuestas de Condiciones de vida 2014 realizada por el Instituto Nacional de Estadística. La Figura 6 muestra cómo se distribuyen los hogares en España, en función de la composición del hogar. Se observa como la mayoría de hogares están compuestos por dos adultos con niños (28%), seguido de los hogares con un adulto (23%) y dos adultos (21%). A partir de esta información, se seleccionan los hogares mayoritarios junto con el hogar compuesto por un adulto con niño (5%), para evaluar su nivel de ingresos. El hogar de un adulto con niños se añade al estudio a pesar de tener una baja representatividad puesto que es un grupo vulnerable, tal y como concluye el estudio de la OMS [7].

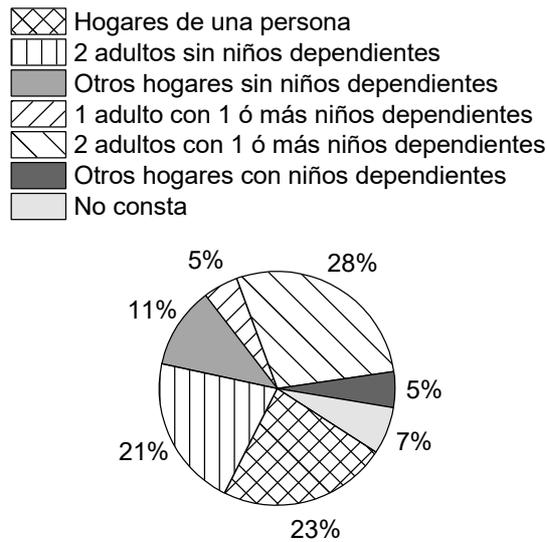


Figura 6 Distribución de los hogares en España según tipo

La renta se clasifica en deciles, proporcionando el número de hogares que se encuentra en cada uno de ellos. Esta información se ha relacionado con el coste energético, con el fin de identificar los grupos de la población que deben gastar más del 10% de sus ingresos para cubrir las necesidades energéticas. La Figura 7 representa los deciles de renta para cada tipo de hogar. En el gráfico se remarca la siguiente información: el 5% y el 10% de la renta, para así poder relacionarlo con el gasto aceptable en energía; el rango de costes energéticos obtenido a partir de las simulaciones energéticas (el rango incluye el coste para los diferentes climas); la renta por decil y tipo de hogar (la etiqueta de cada columna); y por último el umbral de pobreza para cada una de los hogares (línea vertical punteada). Este umbral no hace referencia a pobreza energética, sino a nivel de pobreza en general.

Analizando la gráfica de los hogares de una persona, se observa que para la mayoría de los deciles de renta el gasto energético supone más del 10% de sus ingresos (Q1 a Q5). Esto significa que los hogares de una persona con ingresos por debajo de 13,300 €/a y que vivan en una vivienda de los años 60-80 deben gastar más del 10% de sus ingresos en energía para garantizar unas condiciones de confort en invierno. Si evaluamos el resto de hogares, vemos como los deciles de un hogar con dos adultos y un hogar con un adulto y niños son muy similares. En este caso, se obtiene que todos los hogares con ingresos comprendidos entre el decil Q1 y Q3 deben gastar más del 10% de sus ingresos en energía. Por último, los hogares compuestos por dos adultos con niños, son los menos vulnerables, ya que únicamente los del decil Q1 son los que dedican más del 10% de su renta en cubrir los gastos energéticos.

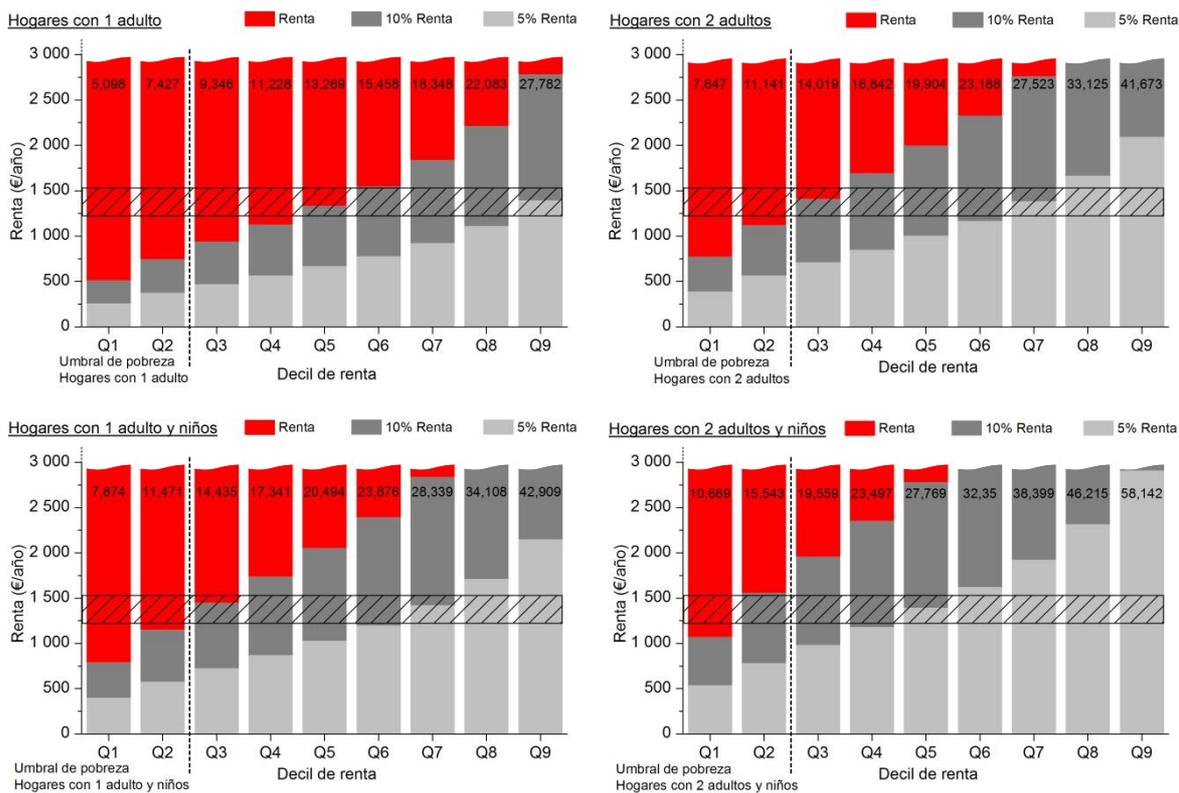


Figura 7 Comparación de la renta con el gasto energético según decil de renta y tipo de hogar. Área rayada representa el coste energético y las etiquetas de las columnas la renta para cada decil.

Combinando la información relativa al número de viviendas de la tipología 60-80, con el número de hogares por decil de renta, es posible obtener la selección de viviendas sobre las cuales la rehabilitación energética es prioritaria. La Tabla 10 muestra el número de viviendas según tipo de hogar y decil, obteniendo un total de 1.5 millones de viviendas.

Tabla 10 Número de hogares de la tipología 60-80 que deben gastar más del 10% de sus ingresos netos en energía, según decil de renta y composición del hogar.

Deciles de renta	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	TOTAL
Hogares de una persona	187,959	98,454	217,793	174,533	152,157	830,896
2 adultos sin niños	71,734	98,804	113,692	-	-	284,230
1 adulto con 1 ó más niños	84,880	36,377	33,579	-	-	154,836
2 adultos con 1 ó más niños	214,688	-	-	-	-	214,688
<b>TOTAL</b>	<b>559,260</b>	<b>233,635</b>	<b>365,064</b>	<b>174,533</b>	<b>152,157</b>	<b>1,484,650</b>

A modo de resumen, la Figura 8 representa el proceso seguido para obtener el número de viviendas que podrían tener problemas de salud debido a un mal condicionamiento de la vivienda, las cuales se utilizan para hacer la evaluación de salud y económica. Básicamente los criterios seguidos son:

- Selección de las viviendas construidas con bajos niveles de eficiencia energética, obteniendo que la tipología 60-80 es la más representativa en toda España que cumple con dicha condición. Estas viviendas representan el 36% del stock total de España: 6.4 millones de viviendas
- Identificar cuáles de estos hogares deben invertir más del 10% de sus ingresos en la factura energética, lo cual puede conllevar a situaciones de temperatura interior inadecuadas en invierno. Estas viviendas presentan el 8% del stock total de España: 1.5 millones de viviendas

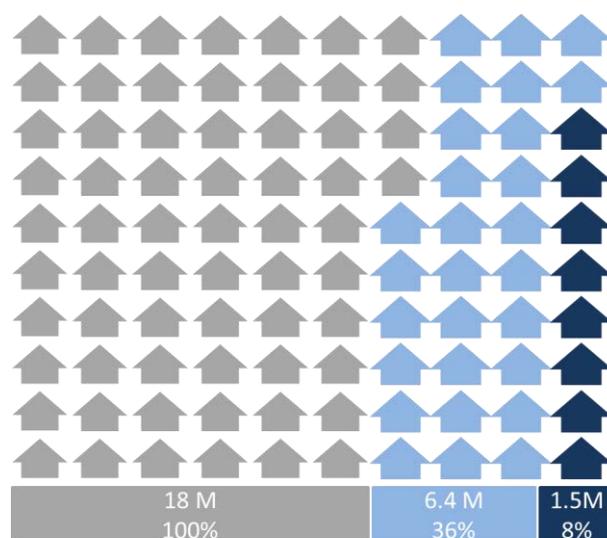


Figura 8 Representación del stock de viviendas de España (gris), fracción de viviendas de la tipología 60-80 (azul claro), y fracción de las cuales deben dedicar más del 10% de sus ingresos en energía (azul oscuro)

Por último, y para contrastar los resultados obtenidos, se analiza la información relacionada con las condiciones de las viviendas que se encuentra en la encuesta de Condiciones de Vida realizada por el Instituto Nacional de Estadística. La Figura 9 muestra el porcentaje de viviendas que sufren algún tipo de problema, incluyendo no únicamente problemas de temperatura. Se observa como los principales problemas están relacionados con la dificultad de mantener una temperatura adecuada en verano (25%), seguido mantener una temperatura confortable en invierno (18%). El 16% de las viviendas presentan problemas de ruido, seguido de problemas de contaminación (10%) y escasez de luz natural (5%).

Si comparamos el resultado de la encuesta relativo a las viviendas que no pueden garantizar una temperatura adecuada en invierno, con el valor obtenido a través de la metodología planteada en el estudio, se observa que el valor del 8% es coherente con los resultados de la encuesta (18%). El 8% se obtiene de analizar únicamente las viviendas de la tipología 60-80 y la encuesta considera todas las tipologías de viviendas existentes en España.

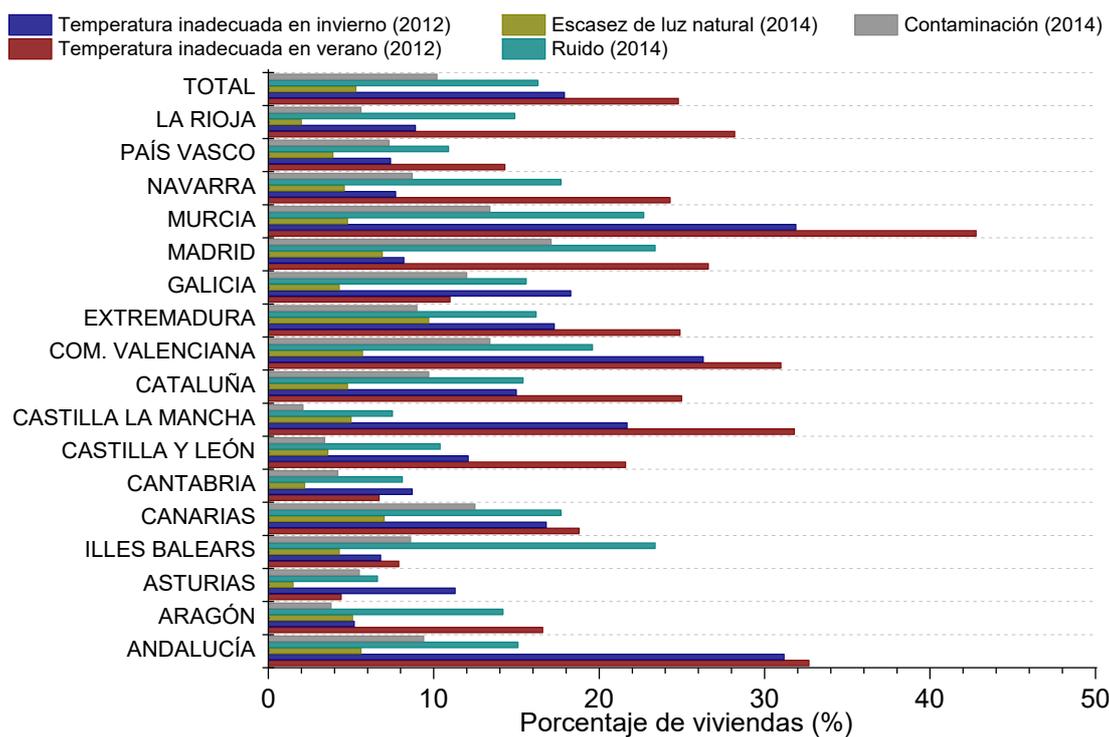


Figura 9 Porcentaje de viviendas con algún tipo de problema por Comunidad Autónoma (Fuente: Encuesta de Condiciones de Vida 2012 y 2014)

## 7. Salud en España

Para estimar la mejora de la salud de las personas, se utiliza como referencia dos de los estudios presentados previamente [28, 30]. Para ello es necesario caracterizar el estado de la salud de las personas en base a la información disponible de la Encuesta Europea de Salud. La información recopilada se presenta a continuación, detallada por grupos de edad e ingresos.

La Figura 10 representa la salud autopercebida por grupos de edad e ingresos anuales netos del hogar. La salud percibida por el individuo es un indicador global de salud que permite medir las desigualdades en salud en función de determinantes socioeconómicos y a su vez es capaz de captar dimensiones más complejas del bienestar y la calidad de vida de los individuos. Si analizamos la figura y comparamos la salud autopercebida por grupos de edad, se observa como la salud autopercebida empeora a medida que aumenta la edad. Este hecho se repite para todos los niveles de ingresos; sin embargo, en las viviendas con más ingresos la salud autopercebida es relativamente mejor que en las viviendas con menos ingresos.

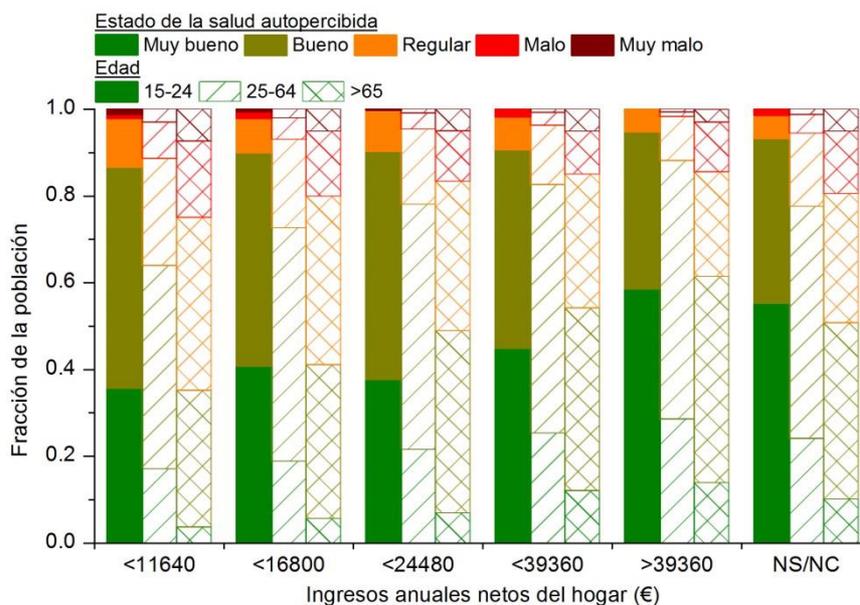


Figura 10 Estado de la salud autopercebida según edad e ingresos anuales netos del hogar (Fuente: Encuesta Europea de Salud en España, 2014)

El hecho de que las personas mayores perciban una peor salud se confirma con el número medio de consultas y hospitalizaciones anuales. En la Figura 11 se observa como el número de visitas al médico de familia varía de 1.2 a 1.4 en los diferentes grupos de edad; sin embargo, el número de hospitalizaciones se incrementan considerablemente de 1.0 a 1.8, aumentando también la duración media por hospitalización (de 6.3 a 10.4 días).

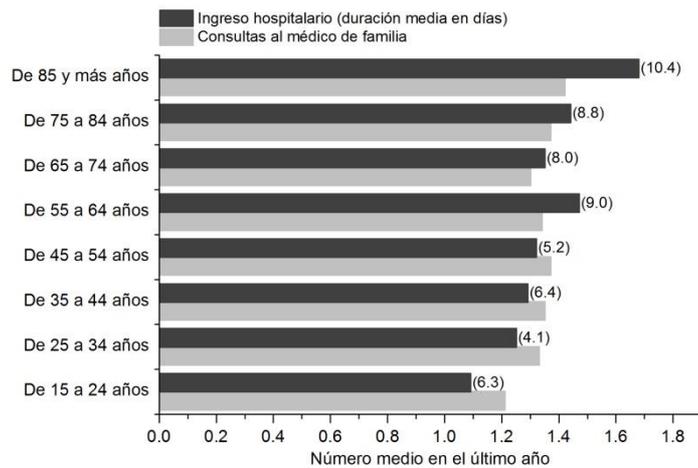


Figura 11 Número medio en el último año de consultas al médico de familia e ingresos hospitalarios según edades (Fuente: Encuesta Europea de Salud en España, 2014)

Las siguientes figuras se centran en el porcentaje de la población que tiene algún tipo de enfermedad crónica o de larga evolución. La Figura 12 muestra el porcentaje de personas según edad que tienen algún tipo de enfermedad crónica. Se observa que a más edad, la población con enfermedades crónicas es superior, habiendo un salto importante en las franjas de 45 a 65 años. La Figura 13 detalla que fracción de la población padece una serie de enfermedades crónicas o de larga evolución concretas. Se detallan las siguientes enfermedades cardiovasculares: tensión alta, infarto de miocardio, angina de pecho y enfermedad coronaria, y otras enfermedades cardiovasculares. Referente a las enfermedades respiratorias, se incluye la alergia crónica, asma y bronquitis crónica y enfermedad pulmonar obstructiva crónica. En este caso se observan tendencias diferentes. De forma general, las personas mayores de 65 años presentan un porcentaje de enfermedades superior que en otros grupos de edades. A excepción del porcentaje de personas con alergia crónica, que es más elevado en los grupos de menor edad (15-24 años).

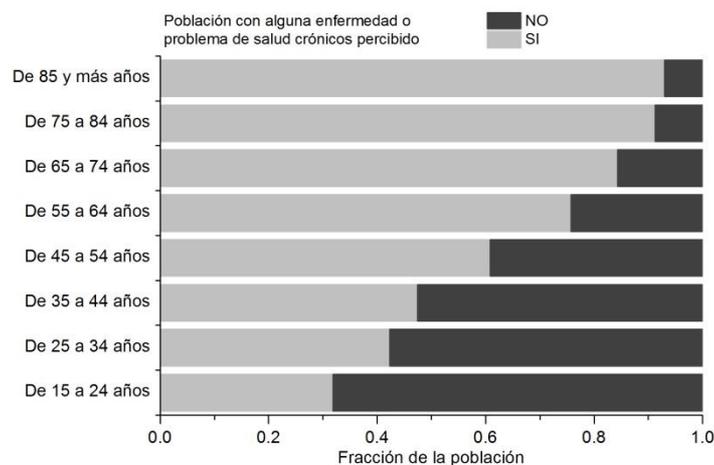


Figura 12 Fracción de la población con alguna enfermedad o problema de salud crónicos percibidos según edades (Fuente: Encuesta Europea de Salud en España, 2014)

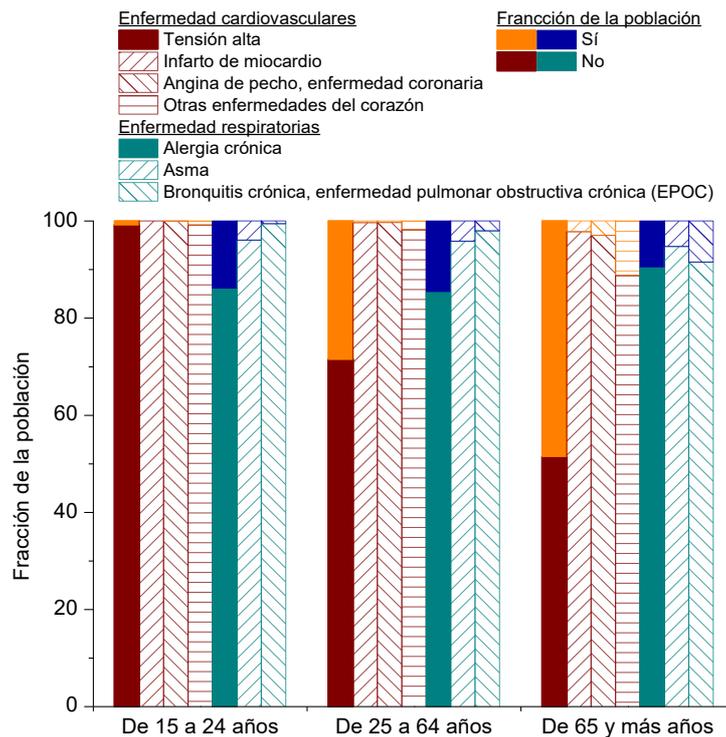


Figura 13 Fracción de la población con problemas o enfermedades crónicas o de larga evolución según edad, y tipo de enfermedad: cardiovascular y respiratorio (Fuente: Encuesta Europea de Salud en España, 2014 y [41])

Una vez descrita la situación a nivel estatal, es necesario determinar el número de viviendas con al menos una persona diagnosticada con alguna de las enfermedades descritas anteriormente. Para ello, se han aplicado las siguientes hipótesis:

- se incluyen únicamente los hogares con ingresos inferiores a 14,500 € de la tipología de viviendas 60-80, que corresponden a las viviendas que deben gastar más del 10% de sus ingresos en energía (1.5 millones de viviendas).
- los niños no se incluyen en el estudio
- los hogares con 1 o 2 adultos y niños se estima que tienen edades comprendidas entre 25 y 64 años
- de los hogares de 1 o 2 adultos se estima que el 41% tienen más de 65 años, y el 59% entre 25 y 64 años, en base a datos del Censo del 2011.

Tras aplicar estas hipótesis, la Tabla 11 muestra el número de viviendas en las que al menos una persona está diagnosticada con alguna de las enfermedades consideradas:

Tabla 11 Estimación de hogares con al menos una persona con alguna de las enfermedades diagnosticada.

		1 adulto	2 adultos	1 adulto con niños	2 adultos con niños	TOTAL
<b>Salud autopercebida mala o muy mala</b>	<b>25-64</b>	56,212	19,229	17,682	24,517	117,640
	<b>&gt;65</b>	84,464	28,893	-	-	113,358
<b>Hipertensión</b>	<b>25-64</b>	139,792	47,820	43,973	60,971	292,556
	<b>&gt;65</b>	163,951	56,084	-	-	220,034
<b>Enfermedades cardíacas</b>	<b>25-64</b>	1,624	556	511	708	3,399
	<b>&gt;65</b>	7,484	2,560	-	-	10,045
<b>Asma</b>	<b>25-64</b>	20,526	7,021	6,457	8,952	42,956
	<b>&gt;65</b>	25,743	8,806	-	-	34,550
<b>Bronquitis crónica</b>	<b>25-64</b>	10,041	3,435	3,159	4,380	21,015
	<b>&gt;65</b>	41,691	14,262	-	-	55,953

## 8. Impacto de la rehabilitación energética

Una vez conocida la situación de partida, es posible evaluar cuál es el impacto de la rehabilitación energética en todos los ámbitos: energético, sanitario y económico. Este capítulo se divide en tres apartados, donde en los dos primeros se evalúa el impacto energético y sobre la salud de las personas, para en el tercero realizar el balance económico de las intervenciones.

### 8.1. Impacto energético

En base al estudio OptiHab, se han obtenido las medidas de eficiencia energética que permiten mejorar el confort de los usuarios de forma más coste-efectiva. Se han definido dos tipos de paquetes de medidas: la rehabilitación energética pasiva (P), y la rehabilitación energética pasiva + activa (PA). En el primer grupo se proponen un conjunto de actuaciones que reducen la demanda energética y consecuentemente mejoran el confort térmico. La rehabilitación energética PA incluye las medidas pasivas, y además se interviene sobre la instalación de calefacción, lo cual permite reducir el consumo energético.

La Figura 14 muestra los resultados económicos tras la implementación de diferentes paquetes de medidas para cada uno de los climas analizados. En todos ellos se muestra el caso de referencia (BC) que representa la vivienda antes de ser rehabilitada; P1, P2, P3, P4, P5, que representan 5 paquetes de medidas pasivas, siendo P5 el paquete que implica un mayor impacto en la reducción de la factura energética; y por último BC-A, PA-1, PA-2, PA-3, PA-4 y PA-5 representan los casos anteriores añadiendo la mejora del sistema de calefacción. En las gráficas se representan, mediante el diagrama de barras, los costes energéticos totales y los costes relativos a la calefacción (eje de la izquierda). En el eje de la derecha, representado mediante los puntos negros, se muestran los costes de inversión de cada uno de los paquetes de medidas. Por último, la escala de colores refleja el confort térmico de la vivienda sin la utilización del sistema de calefacción. Este índice, Porcentaje de Insatisfechos (en inglés Long-term Percentage of Dissatisfied, LDP [42]), representa el porcentaje del tiempo durante el cual las personas se encuentran en condiciones de incomodidad térmica (thermal discomfort en inglés). Por lo tanto, cuanto menor sea el índice, la vivienda presenta menos incomodidad térmica. Se considera que valores inferiores al 20% representa que la vivienda está en condiciones de confort.

Si analizamos los resultados, vemos cómo a medida que los paquetes P son más efectivos desde el punto de vista energético y del confort térmico, el coste energético disminuye a costa de un aumento de la inversión. Si comparamos los paquetes P con los PA, vemos como desde el punto de vista energético, los PAs permite reducir considerablemente el coste energético con inversiones menores. Sin embargo, si analizamos el confort térmico, es la intervención pasiva la que permite mejorar las condiciones de confort. Por lo tanto, si el objetivo es garantizar unas condiciones adecuadas de confort, independientemente de la utilización del sistema de calefacción, es necesario actuar de forma integral sobre la envolvente del edificio.

Si comparamos el resultados en los diferentes climas, vemos como de entrada los climas más fríos (D3 y E1) parten de unos consumos energéticos superiores y unas condiciones de incomodidad térmica peores. Tras la implementación de las medidas de eficiencia energética vemos como los costes energéticos se equiparan a los costes de los climas más cálidos (C2 y B3), reduciendo considerablemente su consumo. Sin embargo, des del punto de vista del confort, los climas fríos continúan presentando niveles de incomodidad térmica bastante elevados, a diferencia de los climas cálidos que se sitúan muy cerca del umbral de confort térmico (20%).

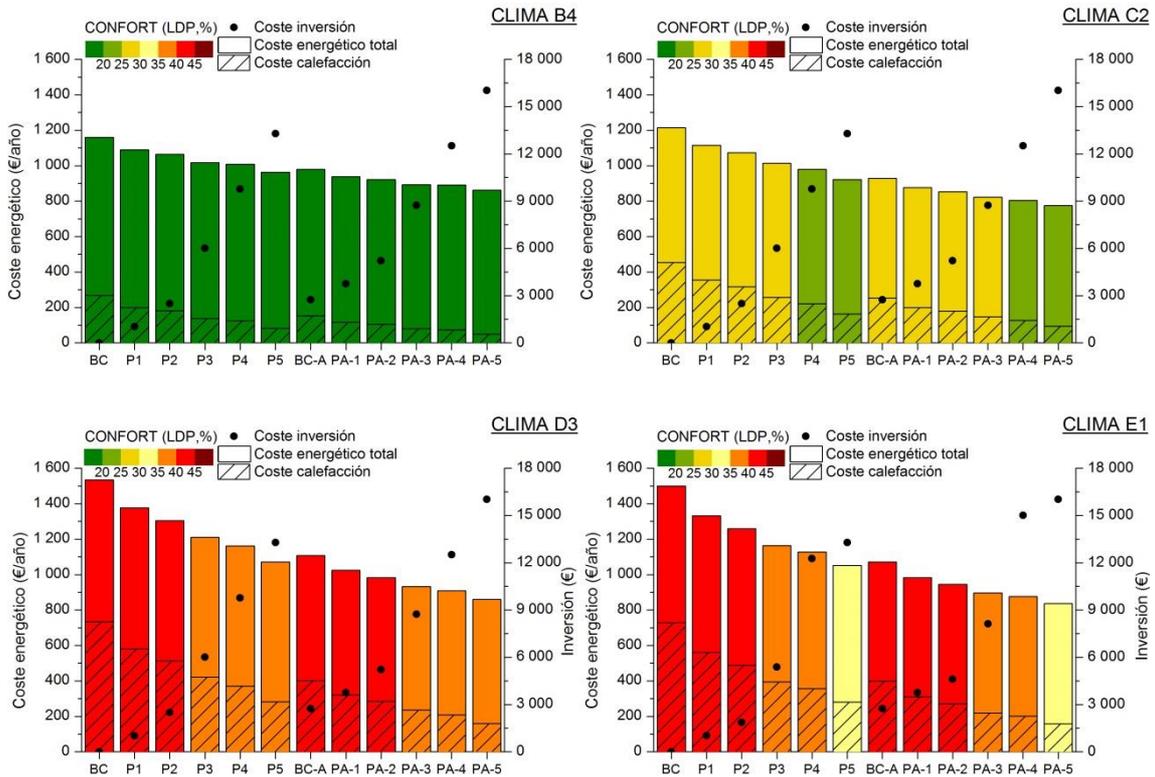


Figura 14 Impacto económico y en el confort térmico de las medidas de eficiencia energética. Eje izquierda: coste energético total y coste de calefacción (barras). Eje derecha: coste de la inversión en las medidas de eficiencia energética. Escala de colores: confort térmico anual sin sistema de calefacción (<20% umbral de confort).

Tras analizar el impacto de los diferentes paquetes de medidas de eficiencia energética, se seleccionan dos de ellos (P5 i PA-5) para realizar todo el balance económico. Las características de ambos paquetes se describen en la Tabla 12, y los costes energéticos en la Tabla 13. Los costes de la inversión incluyen el coste de los materiales, así como el coste de instalación de las diferentes medidas de eficiencia energética.

Tabla 12 Características de los paquetes de medidas de eficiencia energética

	Pasiva-5	Pasiva + Activa-5
Fachada	Aislamiento exterior 12cm (0.26 W/m <sup>2</sup> K)	
Cubierta	Aislamiento interior 8cm (0.39 W/m <sup>2</sup> K)	
Ventana	4/16/4 PVC o aluminio con RPT (2.8 W/m <sup>2</sup> K)	
Sistema calefacción	Caldera convencional ( $\eta=0.75$ )	Caldera de condensación ( $\eta=1.09$ )
Coste inversión sin IVA	10,979	13,241
Coste inversión con IVA	13,284	16,858

Tabla 13 Coste energético de las medidas de eficiencia energética para cada clima

Coste sin IVA (con IVA) (€/vivienda)	Caso Referencia	Pasiva-5	Pasiva + Activa-5	
<b>B4</b>	Calefacción	222 (268)	69 (84)	41 (50)
	Total	942 (1,140)	779 (943)	704 (852)
<b>C2</b>	Calefacción	375 (454)	134 (162)	78 (95)
	Total	1,003 (1,214)	761 (921)	640 (774)
<b>D3</b>	Calefacción	607 (734)	232 (281)	132 (159)
	Total	1,267 (1,533)	885 (1,071)	711 (860)
<b>E1</b>	Calefacción	602 (729)	231 (280)	131 (158)
	Total	1,239 (1,499)	869 (1,051)	691 (836)

## 8.2. Impacto sobre la salud

Respecto al impacto en la salud de las personas, la evaluación se ha centrado en los siguientes indicadores: TMAI, salud autopercebida mala o muy mala, primer diagnóstico de hipertensión y primer diagnóstico relacionado con problemas del corazón. Las personas con asma y bronquitis crónica se han excluido por falta de evidencias de mejora gracias a la rehabilitación energética. Sin embargo, los costes asociados a un año de tratamiento se muestran para tener un orden de magnitud de cuál podría ser su impacto.

La TMAI se calcula como las muertes invernales (mortalidad ocurrida de diciembre a marzo) menos las muertes no invernales (promedio de defunciones producidas de agosto a noviembre, y de abril a julio). Se ha calculado para el periodo 2013-2014 (agosto 2013 – julio 2014) utilizando la Estadística de Defunciones del 2013 y 2014. Tal y como sugiere la OMS, las MAIs causadas por bajas temperaturas en la vivienda representan alrededor del 30%. Con la finalidad de poder calcular las pérdidas laborales debidas a muerte prematuras, se ha calculado las MAIs de personas menores de 65 años. La Tabla 14 muestra los resultados obtenidos, mostrando como la TMAI total es del 19.9%, en cambio sí únicamente contabilizamos las personas menores de 65

años, la tasa se reduce al 11.5%. Este resultado demuestra como las personas mayores son un colectivo vulnerable en relación a bajas temperaturas en las viviendas. Las pérdidas laborales asociadas a muertes prematuras se han obtenido del estudio realizado por Olivia y Aranda-Reneo [43] y se detallan en la Tabla 15. Se presentan tres escenarios diferentes, variando las hipótesis en relación a la tasa de descuento anual, y a la tasa anual de crecimiento de la productividad. Los valores utilizados representan el coste medio por muerte prematura, considerando todas las causas de fallecimiento, el coste debido a enfermedades del sistema circulatorio y enfermedades del sistema respiratorio. Las pérdidas están estimadas para el año 2007, por lo que se han actualizado al 2014 mediante el IPC.

Tabla 14 Mortalidad Adicional Invernal 2013-2014

Mortalidad Adicional Invernal	Total	< 65 años
TMAI	19.9%	11.5%
MAI	24,438	2,158
30% MAI	7,331	647

Tabla 15 Pérdidas laborales ocasionadas por muerte prematura (Datos del 2007, entre paréntesis actualizados al 2014) [43]

Costes (€/defunción)	Escenario I	Escenario II	Escenario III
Tasa descuento	3%	0%	6%
Crecimiento productividad	1%	2%	0%
Perdida laboral media ocasionadas por muerte prematura	138,181 (160,152)	224,549 (260,253)	101,521 (117,663)
Perdida laboral ocasionadas por muerte prematura por enfermedades circulatorias	107,291 (124,350)	150,553 (174,492)	85,247 (98,801)
Perdida laboral ocasionadas por muerte prematura por enfermedades respiratorias	126,182 (146,245)	196,622 (227,885)	95,185 (110,319)

La Tabla 16 muestra el número de viviendas que presentan alguno de los diagnósticos antes de realizar la rehabilitación energética (situación actual), la repercusión de las rehabilitación energética mediante los Odds Ratio y sus intervalos de confianza, y el número de viviendas que presentarían algún diagnóstico si las viviendas estuviesen rehabilitadas. Se puede observar como el número de viviendas de la Situación actual con algún problema de salud es superior al número de viviendas si se hubiese aplicado la rehabilitación energética. Si se analiza el intervalo de confianza (efecto mínimo y máximo) es cierto que, en el peor de los casos, la situación actual sería muy similar a la rehabilitación energética. Esto es debido a que el intervalo de confianza del *Odds Ratio* es muy próximo a 1. Sin embargo, es importante destacar que este fenómeno no se

refleja con el indicador de salud autopercebida, ya que en todo el rango, la situación es mejor. Por último, la Tabla 17 muestra los costes asociados a cada una de las enfermedades. Los costes relacionados con los servicios sanitario y los medicamentos se ha obtenido del estudio realizado por Inoriza et al. [44] y las pérdidas laborales por incapacidad temporal a partir del estudio de Olivia y Aranda-Reneo [43]. En ambos casos, los costes están calculados para diferentes años, 2006 y 2007, por lo que se han actualizado al 2014 mediante el IPC.

Tabla 16 Efecto de la rehabilitación sobre la salud de las personas. Número de viviendas con al menos una persona con problemas de salud en base a los estudios [28, 30]

Número de viviendas	Situación inicial	Odds Ratio	Intervalo confianza	Efecto de la rehabilitación			
				Promedio	Máximo	Mínimo	
Salud autopercebida mala o muy mala	25-64	117,640	0.59	0.47-0.74	69,290	54,938	87,407
	>65	113,358			66,768	52,938	84,225
Hipertensión	25-64	292,556	0.77	0.61-0.97	225,268	178,459	284,365
	>65	220,034			169,427	134,221	213,873
Enfermedades cardíacas	25-64	3,399	0.69	0.52-0.92	2,346	1,768	3,114
	>65	10,045			6,931	5,223	9,201

Tabla 17 Costes anuales asociados a la enfermedad: servicios sanitarios, medicamentos y laborales

Costes anuales	Sanitario		Medicamentos		Laboral	
	2006 [44]	2014 actualizado	2006 [44]	2014 actualizado	2007 [43]	2014 actualizado
Salud autopercebida mala o muy mala	No información		No información		No información	
Hipertensión	1,028	1,222	488	580	4,157	4,818
Enfermedades cardíacas	2,462	2,927	861	1,024	4,157	4,818
Asma	926	1,101	316	376	626	725
Bronquitis crónica	2,262	2,690	804	956	626	725

### 8.3. Evaluación económica

En esta sección, se realiza el balance económico de la rehabilitación energética, considerando los diferentes costes y escenarios. La rehabilitación energética y por consiguiente el balance económico se efectúa sobre el 1.5 millones viviendas identificadas previamente como vulnerables

a sufrir condiciones inadecuadas de temperatura en invierno, y consecuentemente a padecer problemas de salud. En el balance económico no se ha incluido el IVA. La Figura 15 describe los escenarios des del punto de vista del impacto sobre la salud de las personas, el impacto energético y el nivel de subvención pública de la inversión.

	Impacto salud	Impacto energético	Subvención inversión
E0	Sin intervención – caso de referencia		
E1-P-00	Medio	Pasiva	0%
E1-P-30	Medio	Pasiva	30%
E1-P-50	Medio	Pasiva	50%
E1-P-70	Medio	Pasiva	70%
E1-PA-00	Medio	Pasiva + Activa	0%
E1-PA-30	Medio	Pasiva + Activa	30%
E1-PA-50	Medio	Pasiva + Activa	50%
E1-PA-70	Medio	Pasiva + Activa	70%
E2-P-00	Alto	Pasiva	0%
E2-P-30	Alto	Pasiva	30%
E2-P-50	Alto	Pasiva	50%
E2-P-70	Alto	Pasiva	70%
E2-PA-00	Alto	Pasiva + Activa	0%
E2-PA-30	Alto	Pasiva + Activa	30%
E2-PA-50	Alto	Pasiva + Activa	50%
E2-PA-70	Alto	Pasiva + Activa	70%
E3-P-00	Bajo	Pasiva	0%
E3-P-30	Bajo	Pasiva	30%
E3-P-50	Bajo	Pasiva	50%
E3-P-70	Bajo	Pasiva	70%
E3-PA-00	Bajo	Pasiva + Activa	0%
E3-PA-30	Bajo	Pasiva + Activa	30%
E3-PA-50	Bajo	Pasiva + Activa	50%
E3-PA-70	Bajo	Pasiva + Activa	70%

Figura 15 Definición de los escenarios des del punto de vista del impacto en la salud de las personas, el impacto energético y el nivel de subvención de la inversión.

La Tabla 18 muestra los costes incluidos en el balance económico des del punto de vista público y privado. Los costes sanitarios incluyen los costes de los servicios sanitarios y los costes de los medicamentos. Los costes laborales incluyen las pérdidas asociadas a incapacidad temporal, los cuales se contabilizan únicamente para las personas menores de 65 años. Los costes energéticos

representa la factura energética que deben pagar cada uno de los hogares. Para simplificar el estudio, se ha considerado el coste medio de los cuatro climas analizados previamente. Por último, el coste de inversión de la rehabilitación tiene en consideración los materiales, herramientas y la mano de obra necesaria para realizar la obra. Esta inversión se distribuye entre el sector público y el privado en función del nivel de subvención pública establecido, 50% y 70%.

Tabla 18 Costes incluidos en la perspectiva económica pública y privada

Costes	Público	Privado
Sanitarios	x	
Laborales	x	
Inversión rehabilitación	x	x
Energéticos		x

La Tabla 19 y Tabla 20 muestran los resultados del balance económico, desde el punto de vista global y de una vivienda media. Analizando los resultados se puede observar como desde el punto de vista público, existe una diferencia significativa entre el escenario medio y alto (E1 y E2) con el escenario bajo (E3), obteniendo en el peor de los casos un ahorro sanitario y laboral de unos 47€/vivienda (100M€) gracias a la rehabilitación energética. Sin embargo, si nos centramos en los otros escenarios (E1 y E2), el ahorro puede ser muy significativo, entre 372 €/vivienda y 629€/vivienda (558M€ y 943M€ respectivamente). Si comparamos los ahorros económicos con la inversión necesaria, se puede observar que en 9-26 años y 5-15 años se podría recuperar la inversión, en función del escenario considerado. Es importante remarcar, que los casos en que el periodo de retorno es mayor se debe a que la subvención cubierta por la administración pública es del 70% de la inversión. Desde el punto de vista privado, en este caso el factor determinante es el tipo de rehabilitación y el nivel de subvención. En relación al impacto energético, el ahorro asociado al paquete de medidas pasivas es de alrededor de 387€/vivienda (580M€), y para la intervención completa (pasiva + activa) de 547€/vivienda (821M€). En cuanto al periodo de retorno de la inversión varía de 8 a 28 años, según la medida implementada y el nivel de subvención.

Se puede observar como los niveles de ahorro público y privado son similares. Sin embargo, es importante destacar que el ahorro energético es la consecuencia de rehabilitar energéticamente 1.5 millones de viviendas; y el ahorro público es consecuencia de evitar problemas sanitarios a un conjunto de 300,000 personas menores de 65 años, y 230,000 personas mayores de 65 años, en un escenario medio. Por lo tanto, se puede concluir que si las 1.5 millones de viviendas hubiesen estado rehabilitadas, se hubiesen podido evitar unos 500,000 casos de hipertensión.

Si se observa el balance de forma global considerando el ahorro energético a nivel público y privado, tal y como muestra la

Tabla 21, el retorno de la inversión varía de 11 a 25 años. Habitualmente el balance económico de las intervenciones energéticas únicamente contabiliza los costes de inversión y los costes

energéticos, lo cual representaría un retorno de la inversión de 28 años para el paquete de medidas pasivas, y 25 años para el paquete pasivo y activo. Por lo tanto, al incluir los costes sanitarios y laborales en el balance económico, es posible reducir en prácticamente a la mitad el periodo de retorno de la inversión, considerando un el escenario medio.

Tabla 19 Balance económico público y privado de la intervención completa (rehabilitación energética de 1.5 millones de viviendas)

Escenarios	Balance económico público					Balance económico privado			
	Sanitarios M€/a	Laborales M€/a	Inversión M€	Ahorro M€/a	Payback años	Energía M€/a	Inversión M€	Ahorro M€/a	Payback años
E0	977	1,426	-	-	-	1,999	-	-	-
E1-P-00	748	1,097	-	558	-	1,419	16,300	580	28
E1-P-30	748	1,097	4,890	558	9	1,419	11,410	580	20
E1-P-50	748	1,097	8,150	558	15	1,419	8,150	580	14
E1-P-70	748	1,097	11,410	558	20	1,419	4,890	580	8
E1-PA-00	748	1,097	-	558	-	1,178	18,454	821	22
E1-PA-30	748	1,097	6,182	558	11	1,178	14,426	821	16
E1-PA-50	748	1,097	10,304	558	18	1,178	10,304	821	13
E1-PA-70	748	1,097	14,426	558	26	1,178	6,182	821	8
E2-P-00	591	868	-	943	-	1,419	16,300	580	28
E2-P-30	591	868	4,890	943	5	1,419	11,410	580	20
E2-P-50	591	868	8,150	943	9	1,419	8,150	580	14
E2-P-70	591	868	11,410	943	12	1,419	4,890	580	8
E2-PA-00	591	868	-	943	-	1,178	18,454	821	22
E2-PA-30	591	868	6,182	943	5	1,178	14,426	821	16
E2-PA-50	591	868	10,304	943	11	1,178	10,304	821	13
E2-PA-70	591	868	14,426	943	15	1,178	6,182	821	8
E3-P-00	946	1,385	-	71	-	1,419	16,300	580	28
E3-P-30	946	1,385	4,890	71	69	1,419	11,410	580	20
E3-P-50	946	1,385	8,150	71	115	1,419	8,150	580	14
E3-P-70	946	1,385	11,410	71	160	1,419	4,890	580	8
E3-PA-00	946	1,385	-	71	-	1,178	18,454	821	22
E3-PA-30	946	1,385	6,182	71	69	1,178	14,426	821	16
E3-PA-50	946	1,385	10,304	71	145	1,178	10,304	821	13
E3-PA-70	946	1,385	14,426	71	203	1,178	6,182	821	8

Tabla 20 Balance económico público y privado para una vivienda media.

Escenarios	Balance económico público					Balance económico privado			
	Sanitarios €/a·viv	Laborales €/a·viv	Inversión €/viv	Ahorro €/a·viv	Payback Años	Energía €/a·viv	Inversión €/viv	Ahorro €/a·viv	Payback años
E0	651	951	-	-	-	1,333	-	-	-
E1-P-00	499	731	-	372	-	946	10,866	387	28
E1-P-30	499	731	3,260	372	9	946	7,606	387	20
E1-P-50	499	731	5,433	372	15	946	5,433	387	14
E1-P-70	499	731	7,606	372	20	946	3,260	387	8
E1-PA-00	499	731	-	372	-	785	12,303	547	22
E1-PA-30	499	731	4,122	372	11	785	8,612	547	16
E1-PA-50	499	731	6,869	372	18	785	6,869	547	13
E1-PA-70	499	731	9,617	372	26	785	4,122	547	8
E2-P-00	394	579	-	629	-	946	10,866	387	28
E2-P-30	394	579	3,260	629	5	946	7,606	387	20
E2-P-50	394	579	5,433	629	9	946	5,433	387	14
E2-P-70	394	579	7,606	629	12	946	3,260	387	8
E2-PA-00	394	579	-	629	-	785	12,303	547	22
E2-PA-30	394	579	4,122	629	5	785	8,612	547	16
E2-PA-50	394	579	6,869	629	11	785	6,869	547	13
E2-PA-70	394	579	9,617	629	15	785	4,122	547	8
E3-P-00	631	923	-	47	-	946	10,866	387	28
E3-P-30	631	923	3,260	47	69	946	7,606	387	20
E3-P-50	631	923	5,433	47	115	946	5,433	387	14
E3-P-70	631	923	7,606	47	160	946	3,260	387	8
E3-PA-00	631	923	-	47	-	785	12,303	547	22
E3-PA-30	631	923	4,122	47	69	785	8,612	547	16
E3-PA-50	631	923	6,869	47	145	785	6,869	547	13
E3-PA-70	631	923	9,617	47	203	785	4,122	547	8

Tabla 21 Balance económico global

Escenarios	Ahorro		Inversión	Balance
	Público M€/a	Privado M€/a	Total M€/a	Payback Años
E1-P	558	580	16,299	14
E1-PA	558	821	20,608	15
E2-P	943	387	16,299	11
E2-PA	943	547	20,608	12
E3-P	71	387	16,299	25
E3-PA	71	547	20,608	23

Por último, es importante remarcar algunos de los supuestos realizados en la evaluación económica:

- La estimación de las personas que padecen problemas cardiovasculares se ha realizado de forma conservadora, puesto que se ha hecho la hipótesis de “1 vivienda = 1 persona diagnosticada”.
- No se han considerado los costes asociados a mala o muy mala salud autopercebida, puesto que no se han encontrado estudios que lo cuantifiquen.
- No se han considerado los costes asociados a mortalidad prematura debido a temperaturas inadecuadas en la vivienda, debido a que no se han encontrado referencias de cómo puede reducirse la TMAI si se mejora la vivienda térmicamente.
- No se han considerado los costes asociados a enfermedades respiratorias por la dificultad de asociar los costes sanitarios a las evidencias encontradas por el estudio [28].
- No se han considerado las posibles mejoras asociadas a altas temperaturas, humedades y hongos, calidad del aire interior y ruido, a pesar de que las rehabilitaciones constructivas propuestas pudiesen tener un impacto positivo.

## 9. Conclusiones

A continuación se presentan las principales conclusiones del estudio:

- La relación salud – vivienda está bien establecida y existen numerosos estudios que evidencian que unas malas condiciones en la vivienda ocasionan problemas de salud.
- La relación salud – eficiencia energética necesita ser profundizada, y hacen falta más estudios para determinar su efecto de forma clara y para cada una de las problemáticas que se pueden dar en las viviendas, como serían problemas de ruido, calidad del aire, etc...
- Aproximadamente el 50% de las viviendas en España están construidas sin ningún tipo de criterio de eficiencia energética. El 36% de las viviendas pertenecen al periodo 60-80, y representa la tipología edificatoria más representativa de España.
- El 8% de las viviendas en España (1.5 millones), las cuales pertenecen a la tipología 60-80, se encuentran en riesgo de tener problemas de temperaturas frías en invierno, debido a los bajos niveles de eficiencia energética y el bajo nivel de renta de los hogares.
- Si se rehabilitan energéticamente 1.5 millones de viviendas construidas en los años 60-80, sería posible evitar que:
  - unas 100,000 personas considerasen que tienen una salud mala o muy mala;
  - unas 120,000 personas no estarían diagnosticadas con problemas cardiovasculares;
  - las familias podrían ahorrarse entre 400-550€ anuales en sus facturas energéticas, lo cual reduciría prácticamente a la mitad los costes energéticos totales de la vivienda;
  - la administración pública se ahorraría unos 370€ por vivienda, en costes sanitarios y laborales.
- Sería posible reducir el número de muertes adicionales de invierno debido a temperaturas frías en la vivienda, que actualmente se encuentra en 650 personas menores de 65 años, y alrededor de 6,700 en personas mayores de 65.
- Con un programa de subvenciones para la rehabilitación energética de las viviendas, en el que la administración pública asuma el 50% de la inversión en rehabilitación:
  - Se reduce la inversión privada a niveles razonables para las familias (5,000 - 7,000€/viv), haciendo la inversión más atractiva con periodos de retorno de unos 13-14 años;
  - La administración pública recupera la inversión en un periodo de 15-18 años sólo debido a la mejora de la salud de las personas. Cabe destacar, que la estimación sobre el impacto de la salud de las personas se ha hecho de forma conservadora:
    - únicamente se han considerado algunos efectos que causan las bajas temperaturas durante el invierno, dejando fuera otras problemáticas y enfermedades;

- no se han considerado aspectos relacionados con el impacto medioambiental y la mejora de la actividad económica los cuales se conoce que tienen una consecuencia económica positiva.

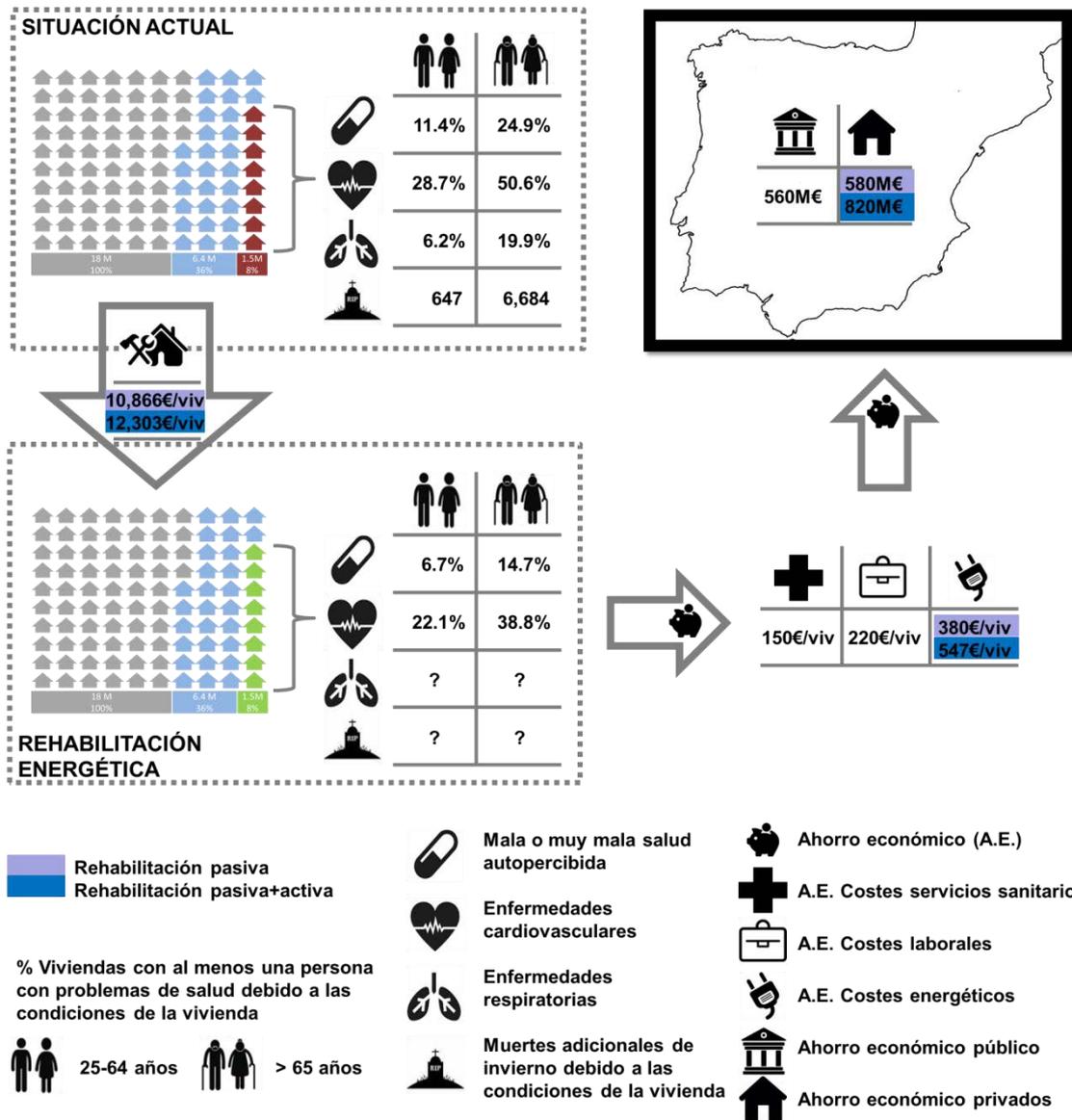


Figura 16 Impacto económico de la rehabilitación energética desde el punto de vista sanitario y energético. Rehabilitación pasiva (lila) y pasiva + activa (azul). Problemas de salud: mala o muy mala salud autopercebida, enfermedades cardiovasculares, enfermedades respiratorias, y muerte adicional de invierno debida a temperaturas frías en la vivienda (de arriba abajo). Ahorro económico sanitarios, laborales y energéticos y ahorro económico del sector público y privado (de izquierda a derecha).

## 10. Referencias

- [1] VELUX Group, Healthy homes barometer 2016. European Survey by the VELUX Group, 2016.
- [2] World Health Organization - Europe, Environmental burden of disease associated with inadequate housing, 2011.
- [3] X. Bonnefoy, Inadequate housing and health: an overview, *International Journal of Environment and Pollution*, 30 (3) (2007) 411-429.
- [4] S. Tirado Herrero, J.L. López Fernández, P. Martín García, Pobreza energética en España, Potencial de generación de empleo directo de la pobreza derivado de la rehabilitación energética de viviendas, Asociación de Ciencias Ambientales, 2012.
- [5] S. Tirado Herrero, L. Jiménez Meneses, J.L. López Fernández, J. Martín García, Pobreza Energética en España. Análisis de tendencias, Asociación de Ciencias Ambientales, 2014.
- [6] S. Tirado Herrero, L. Jiménez Meneses, J.L. López Fernández, E. Perero Van Hove, V.M. Irigoyen Hidalgo, P. Savary, Pobreza, vulnerabilidad y desigualdad energética. Nuevos enfoques de análisis., Asociación de Ciencias Ambientales, 2016.
- [7] World Health Organization - Europe, Environmental health inequalities in Europe. Assessment report, 2012.
- [8] Marmot Review Team, Direct health impacts of living in a cold home and fuel poverty, 2011.
- [9] T. Fowler, R.J. Southgate, T. Waite, R. Harrell, S. Kovats, A. Bone, Y. Doyle, V. Murray, Excess Winter Deaths in Europe: A multi-country descriptive analysis, *The European Journal of Public Health*, (2014).
- [10] J.D. Healy, Excess winter mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors, *Journal of Epidemiology and Community Health*, 57 (10) (2003) 784-789.
- [11] P. Wilkinson, M. Landon, B. Armstrong, S. Stevenson, S. Pattenden, M. McKee, T. Fletcher, Cold comfort: the social and environmental determinants of excess winter deaths in England, 1986-1996, 2001.
- [12] Department of Health, Health and winter warmth. Reducing health inequalities, 2007.
- [13] N. Bowie, G. Jackson, The raised incidence of winter deaths, 2002.
- [14] E.L. Lloyd, C. McCormack, M. McKeever, M. Syme, The effect of improving the thermal quality of cold housing on blood pressure and general health: a research note, *Journal of Epidemiology and Community Health*, 62 (9) (2008) 793-797.
- [15] Department for Communities and Local Government, Investigation into Overheating in Homes. Literature Review, 2012.
- [16] A. Analitis, K. Katsouyanni, A. Biggeri, M. Baccini, B. Forsberg, L. Bisanti, U. Kirchmayer, F. Ballester, E. Cadum, P.G. Goodman, A. Hojs, J. Sunyer, P. Tiittanen, P. Michelozzi, Effects of Cold Weather on Mortality: Results From 15 European Cities Within the PHEWE Project, *American Journal of Epidemiology*, 168 (12) (2008) 1397-1408.
- [17] P. Michelozzi, G. Accetta, M. De Sario, D. D'Ippoliti, C. Marino, M. Baccini, A. Biggeri, H.R. Anderson, K. Katsouyanni, F. Ballester, High temperature and hospitalizations for cardiovascular and respiratory causes in 12 European cities, *American journal of respiratory and critical care medicine*, 179 (5) (2009) 383-389.

- [18] S. Vandentorren, P. Bretin, A. Zeghnoun, L. Mandereau-Bruno, A. Croisier, C. Cochet, J. Ribéron, I. Siberan, B. Declercq, M. Ledrans, August 2003 Heat Wave in France: Risk Factors for Death of Elderly People Living at Home, *The European Journal of Public Health*, 16 (6) (2006) 583-591.
- [19] World Health Organization - Europe, *Air Quality Guidelines for Europe*, 2000.
- [20] J. Cyrus, M. Pitz, W. Bischof, H.E. Wichmann, J. Heinrich, Relationship between indoor and outdoor levels of fine particle mass, particle number concentrations and black smoke under different ventilation conditions, *J Expo Anal Environ Epidemiol*, 14 (4) (2004) 275-283.
- [21] G. Hoek, G. Kos, R. Harrison, J. de Hartog, K. Meliefste, H. ten Brink, K. Katsouyanni, A. Karakatsani, M. Lianou, A. Kotronarou, I. Kavouras, J. Pekkanen, M. Vallius, M. Kulmala, A. Puustinen, S. Thomas, C. Meddings, J. Ayres, J. van Wijnen, K. Hameri, Indoor-outdoor relationships of particle number and mass in four European cities, *Atmospheric Environment*, 42 (1) (2008) 156-169.
- [22] C. Chen, B. Zhao, Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor, *Atmospheric Environment*, 45 (2) (2011) 275-288.
- [23] World Health Organization - Europe, *Guidelines for indoor air quality: selected pollutants*, 2010.
- [24] World Health Organization - Europe, *Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe*, 2011.
- [25] A. Recio, C. Linares, J.R. Banegas, J. Díaz, The short-term association of road traffic noise with cardiovascular, respiratory, and diabetes-related mortality, *Environmental Research*, 150 (2016) 383-390.
- [26] H. Thomson, S. Thomas, E. Sellstrom, M. Petticrew, The Health Impacts of Housing Improvement: A Systematic Review of Intervention Studies From 1887 to 2007, *American Journal of Public Health*, 99 (Suppl 3) (2009) S681-S692.
- [27] H. Thomson, S. Thomas, E. Sellstrom, M. Petticrew, Housing improvements for health and associated socio-economic outcomes, *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (2) (2013).
- [28] P. Howden-Chapman, A. Matheson, J. Crane, H. Viggers, M. Cunningham, T. Blakely, C. Cunningham, A. Woodward, K. Saville-Smith, D. O'Dea, M. Kennedy, M. Baker, N. Waipara, R. Chapman, G. Davie, Effect of insulating existing houses on health inequality: cluster randomised study in the community, *BMJ : British Medical Journal*, 334 (7591) (2007) 460-460.
- [29] P. Howden-Chapman, N. Pierse, S. Nicholls, J. Gillespie-Bennett, H. Viggers, M. Cunningham, R. Phipps, M. Boulic, P. Fjällström, S. Free, R. Chapman, B. Lloyd, K. Wickens, D. Shields, M. Baker, C. Cunningham, A. Woodward, C. Bullen, J. Crane, Effects of improved home heating on asthma in community dwelling children: randomised controlled trial, *BMJ*, 337 (2008).
- [30] S. Platt, R. Mitchell, J. Walker, J. Hopton, M. Petticrew, J. Corbett, S. Hope, C. Martin, The scottish executive central heating programme: Assessing impacts on health, *Social Research Development Department*, 2007.
- [31] A. García-Altés, E. Navas, M.J. Soriano, Evaluación económica de intervenciones de salud pública, *Gaceta Sanitaria*, 25, Supplement 1 (2011) 25-31.
- [32] NBE-CT-79, *Norma Básica de la Edificación*, 1979

- [33] IDAE, PROYECTO SECH-SPAHOUSEC: Análisis del consumo energético en el sector residencial en España, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2011.  
[http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_Informe\\_SPAHOUSEC\\_ACC\\_f68291a3.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf)
- [34] A. Cuchí, P. Sweatman, Una visión-país para el sector de la edificación en España. Hoja de ruta para un nuevo sector de la vivienda, Green Building Council Spain. Fundación CONAMA, 2011.
- [35] Spanish Ministry of Development . Directorate for Architecture Housing and Planning, Report on cost optimal calculations and comparison with the current and future energy performance requirements of buildings in Spain, 2013.
- [36] CTE, Código Técnico de la Edificación, 2006
- [37] MARIE. Mediterranean Building Rethinking for Energy Efficiency Improvement, Programme MED, call for proposal: 3rd call, 2010 (Agreement N° 1S-MED10-002) 2010-2014. [www.marie-medstrategic.eu](http://www.marie-medstrategic.eu)
- [38] J. Ortiz, A. Fonseca, J. Salom, V. Russo, N. Garrido, P. Fonseca, Optimization of energy renovation of residential sector in Catalonia based on comfort, energy and costs, IBPSA 2015: International Building Performance Simulation Conference, Hyderabad, India, December 7-9th 2015.
- [39] J. Ortiz, A. Fonseca, J. Salom, N. Garrido, P. Fonseca, V. Russo, Comfort and economic criteria for selecting passive measures for the energy refurbishment of residential buildings in Catalonia, Energy and Buildings, 110 (2016) 195-210.
- [40] J. Ortiz, A. Fonseca, J. Salom, N. Garrido, P. Fonseca, Cost-effective analysis for selecting energy efficiency measures for refurbishment of residential buildings in Catalonia, Under review, (2016).
- [41] M. Saez, M.A. Barceló, Coste de la hipertensión arterial en España, Hipertensión y Riesgo Vascular, 33 (02) (2016) 145-151.
- [42] S. Carlucci, Thermal comfort assessment of buildings, Springer, 2013.
- [43] J. Oliva, I. Aranda-Reneo, Pérdidas laborales ocasionadas por las enfermedades, lesiones y problemas de salud durante el año 2007, Presupuesto y Gasto Público, 68 (2012) 157-176.
- [44] J. Inoriza, M. Carreras, J. Lisbona, E. Sánchez, J. Coderch, P. Ibern, La despesa sanitària poblacional segons la morbiditat atesa. Estudis d'Economia de la Salut (Volum III) Generalitat de Catalunya,  
[http://www20.gencat.cat/docs/canalsalut/Home%20Canal%20Salut/Professionals/Recursos/Estudis/08\\_planificacio\\_sanitaria/documents/estecosalutiii.pdf](http://www20.gencat.cat/docs/canalsalut/Home%20Canal%20Salut/Professionals/Recursos/Estudis/08_planificacio_sanitaria/documents/estecosalutiii.pdf)