



Received: 24-05-2018  
Accepted: 28-07-2018

Anales de Edificación  
Vol. 4, Nº 2, 82-89 (2018)  
ISSN: 2444-1309  
Doi: 10.20868/ade.2018.3783

## Evaluación de la sostenibilidad en la rehabilitación energética de vivienda social en países mediterráneos. Evaluation of sustainability in the energy rehabilitation of social housing in Mediterranean countries.

B. Gimeno, J. Aranda, D. Zambrana, A. Conserva, P. López, F. Albiac

Centro de investigación de recursos y consumos energéticos (CIRCE), Zaragoza (bgimeno@fcirce.es; juan.aranda@fcirce.es; zambrana@fcirce.es; aconserva@fcirce.es; plopez@zaragozavivienda.es; falbiac@zaragozavivienda.es)

---

**Resumen**— En España, donde existen más de 18 millones de hogares según el último censo del Instituto Nacional de Estadística en 2011, alrededor del 8% de la población reside en viviendas de alquiler social. Del parque de viviendas español, más de la mitad de los edificios se construyeron antes de 1980 y alrededor del 35% entre 1981 y 2006, año en que fue implantado el Código Técnico de la Edificación. Asimismo, más del 80% de los certificados energéticos de edificios existentes registrados hasta julio de 2015, obtiene una calificación E o inferior en términos de emisiones de CO<sub>2</sub>. Para mejorar estos resultados, la Unión Europea tiene como objetivo alcanzar una tasa de rehabilitación de edificios privados del 2,5% anual, mejorando la eficiencia energética y ampliando la vida útil del parque edificatorio. Sin embargo, los CEEE únicamente representan parte de la etapa de uso, dejando atrás otras, como la de producción, cuyo impacto puede representar un cuarto de las emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio a lo largo de su ciclo de vida. Para desarrollar una rehabilitación óptima, se propone evaluar la sostenibilidad de los proyectos de rehabilitación incluyendo las etapas de producción, construcción, uso y fin de vida y considerando el impacto medioambiental y económico, así como aspectos sociales relativos a las características de la vivienda social. Este artículo analiza los impactos medioambientales de diferentes soluciones de rehabilitación en vivienda social, tomando como caso de estudio un edificio de vivienda social en Zaragoza. El edificio antes de la rehabilitación supone casi 50 kgCO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>año, donde el 60% corresponden al consumo eléctrico durante la fase de uso del edificio. En el estudio también se incluye la variable de confort térmico en situaciones de vulnerabilidad energética.

**Palabras clave**— Sostenibilidad, análisis de ciclo de vida, rehabilitación energética, vivienda social.

---

**Abstract-** In Spain, where there are more than 18 million households according to the last census of the National Institute of Statistics in 2011, around 8% of the population lives in social rental housing. Of the Spanish housing stock, more than half of the buildings were built before 1980 and around 35% between 1981 and 2006, the year in which the Technical Building Code was implemented. Likewise, more than 80% of the energy certificates of existing buildings registered until July 2015, obtain an E rating or lower in terms of CO<sub>2</sub> emissions. To improve these results, the European Union aims to achieve a private buildings rehabilitation rate of 2.5% per year, improving energy efficiency and extending the useful life of the building park. However, CEEs only represent part of the use stage, leaving behind others, such as production, whose impact can represent a quarter of the building's CO<sub>2</sub> emissions throughout its life cycle. To develop an optimal rehabilitation, it is proposed to evaluate the sustainability of the rehabilitation projects including the stages of production, construction, use and end of life and considering the environmental and economic impact, as well as social aspects related to the characteristics of social housing. This article analyzes the environmental impacts of different rehabilitation solutions in social housing, taking as a case study a social housing building in Zaragoza. The building before the rehabilitation supposes almost 50 kgCO<sub>2</sub>-eq / m<sup>2</sup>año, where 60% correspond to the electrical consumption during the phase of use of the building. The study also includes the thermal comfort variable in situations of energy vulnerability.

*Index Terms*— Sustainability, life cycle analysis, energy rehabilitation, social housing.

## I. INTRODUCCIÓN

El sector de la edificación representa alrededor del 40% del consumo total de energía final, aporta alrededor del 36% de las emisiones europeas de gases de efecto invernadero y aproximadamente la mitad de las emisiones de CO<sub>2</sub> no cubiertas por el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea (UE) (European Commission, 2013; COTEC, 2008). Teniendo en cuenta su importancia referente a los indicadores mencionados, el marco regulatorio europeo sobre eficiencia energética en edificios: la Directiva 2010/31/UE (European Commission, 2010) relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva de 2012/27/UE (European Commission, 2012) relativa a la eficiencia energética, establecen un paquete de medidas de eficiencia energética, tanto para edificios nuevos como para existentes, que deben ser implementadas por todos los Estados miembros. Este paquete está configurado para cumplir con el objetivo para 2020 de la UE hacia los edificios de consumo de energía casi nula (Nearly Zero-Energy Buildings, NZEB) en nuevas construcciones y la mejora de la eficiencia energética en los edificios existentes. Teniendo en cuenta que alrededor del 35% del stock edificatorio europeo tiene más de 50 años de antigüedad, parece claro que es necesario emprender acciones en la búsqueda de un parque edificatorio con un menor consumo energético.

En 2015, casi dos tercios de las familias españolas con ingresos por debajo del 60% de la mediana de los ingresos por unidad de consumo residía en viviendas en propiedad, mientras que en torno al 16% lo hacía en viviendas de alquiler social (Eurostat, 2017). Ese mismo año, casi el 11% y el 9% de la población de la EU-28 y española, respectivamente, residía en viviendas de alquiler protegido y/o gratuito (Eurostat, 2017). Buena parte de los edificios donde se encuentran estas viviendas sociales fueron construidas tras la Segunda Guerra

Mundial en Europa, (Carawell, 2012) y la Guerra Civil, en España (Guajardo, 2016) para dar respuesta a la escasez de vivienda disponible. En España, destacan los polígonos sindicales construidos entre 1940 y 1980, constituidos por bloques lineales basados en modelos determinados por requerimientos normativos y económicos, pero cuya obsolescencia se empieza a manifestar con el aumento de la construcción en altura y cambios sociales en los años 80 (Guajardo, 2016).

En España, la CE estima que alrededor del 50% del consumo energético de viviendas se destina a la calefacción de espacios y que el consumo medio por hogar se encuentra en torno a los 100 kWh/m<sup>2</sup> año (Comisión Europea, 2017). De acuerdo con el III Estudio de Pobreza Energética (Asociación, 2016), en España, más de un 20% de hogares experimentan situaciones asociadas a la pobreza energética y afirma que alrededor del 11% 'es incapaz de mantener su vivienda a una temperatura adecuada en invierno', es decir, sin alcanzar las condiciones de confort higrotérmico recomendadas. Asimismo, estima que el 6% de los hogares dedican más del 15% de sus ingresos familiares al pago de facturas energéticas. Por otro lado, de acuerdo con los datos del Censo de 2011 realizado en España por el Instituto Nacional de Estadística (INE), un tercio de las viviendas principales construidas entre 1940 y 1990 no dispone de instalación de calefacción, aunque sí dispone de aparatos que permiten calentar los espacios, mientras que el 15% carece de cualquier equipo que permita calentar la vivienda (Instituto, 2011). Para evitar y/o reducir los casos de hogares en situación de pobreza energética, algunos países de la Unión Europea disponen de herramientas para la financiación parcial y/o total de la factura energética de los hogares como, por ejemplo, los bonos sociales disponibles en Italia y en España (Selectra, 2016; Ministerio, 2017).

Por tanto, uno de los mayores desafíos a los que se enfrentan los núcleos urbanos actuales es a la regeneración de los

conjuntos de vivienda social construidos en la segunda mitad del siglo XX y que, hoy en día, se encuentran obsoletos a dos niveles; por un lado, desde el punto de vista social presentan falta de relación con el resto de la ciudad, se encuentran en barrios vulnerables y carecen de adaptación a las necesidades actuales. Por otro lado, desde el punto de vista constructivo, pueden presentar patologías, escasa eficiencia energética y mantenimiento insuficiente (Guajardo, 2016). A esta situación edificatoria hay que sumar la situación de vulnerabilidad y pobreza en la que se encuentran algunos de sus usuarios. Para evaluación de la sostenibilidad en la rehabilitación energética de vivienda social en países mediterráneos, bajo los tres enfoques de evaluación del comportamiento ambiental, social y económico, respectivamente, en el presente artículo se analiza un caso de estudio de rehabilitación de un bloque residencial, situado en Zaragoza. Se incluyen, además, consideraciones de aspecto social relacionados con la minimización del riesgo de vulnerabilidad energética asociado con las características del caso de estudio.

## II. METODOLOGÍA

La metodología de ACV ha sido utilizada para la evaluación de los impactos ambientales de cada una de las etapas del ciclo de vida del edificio. La metodología está estandarizada a través de las normas ISO 14040:2006 (International, 2006) e ISO 14044:2006 (International, 2006\*). La evaluación de la sostenibilidad del caso de estudio se realiza en el marco de las Normas UNE-EN 15643-2:2012 (CTN 198, 2012), UNE-EN 15643-3:2012 (CTN 198, 2011) y UNE-EN 15643-4:2012 (CTN 198, 2012\*). La metodología empleada se basa en los límites y etapas de ciclo de vida revisadas para rehabilitación de edificios (Vilches et al., 2016). La evaluación de impacto ambiental se realiza desde un punto de vista ‘Mid-point’ (Gentil et al., 2010). Considerando las etapas de evaluación de impacto (clasificación, caracterización, normalización y ponderación), los factores de caracterización utilizados para cuantificar el impacto ambiental potencial del Inventario de Ciclo de Vida (ICV) son aquellos que presenta la metodología de evaluación de impacto IPCC 2007 GWP 100a V1.02 (Intergovernmental, 2007), utilizando el Software SimaPro v.7.3.2 (Rebitzer et al., 2004) que resume las emisiones de Gas de Efecto Invernadero (GEI) en términos de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente.

## III. CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio está situado en Zaragoza y se trata de un bloque residencial de alrededor de 5.000 m<sup>2</sup>, construido en 1990 y que es rehabilitado durante el 2018, conservando sus características geométricas y de distribución de los espacios

interiores. A pesar de estar construido fuera del rango temporal principal de construcción de polígonos sindicales españoles (entre 1940 y 1980), comparte características formales y tipológicas con ellos. Por un lado, sus arquitectos originales manifiestan en el proyecto la voluntad de respetar la ordenación espacial existente en el barrio, resultando un esquema entre la manzana cerrada y bloques abiertos de los polígonos sindicales del entorno (Adiego et al., 1988). Por otro lado, su organización general se basa en la economía de medios y la distribución interior con una zonificación clara día-noche, como era habitual en estas tipologías. El edificio tiene una altura de 4 plantas sobre rasante y posee una planta bajo rasante, aunque esta última no está ocupada. Las viviendas que componen el bloque, 53 en total, tienen la misma orientación doble norte y sur, menos aquellas más pequeñas que sólo se orientan a sur y las ubicadas en los testeros que también tienen orientación oeste o este, aunque no tienen huecos abiertos en estas orientaciones.

### A. Características del edificio

La estructura del edificio se basa en pórticos de hormigón armado. La envolvente vertical opaca ( $U=0,52 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) se compone por una doble hoja de ladrillo: hueco sencillo por la cara interior y cara vista por el exterior. Entre ellos se encuentra una capa de 4,5 cm de aislamiento en fibra de vidrio. Por otro lado, la cubierta del edificio ( $U=2,51 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) se construye con tabiquillos palomeros y también posee aislante térmico. Las carpinterías son de aluminio sin rotura de puente térmico y se componen de doble vidrio (4/6/4). En la fachada norte, debido a las infiltraciones de aire causadas por el Cierzo, algunas viviendas poseen doble ventana. La mayoría de las viviendas cuenta con radiadores eléctricos instalados durante su construcción. No disponiendo de datos segregados de consumo, se podría suponer que, de acuerdo con las condiciones climáticas, más del 50% del consumo energético del edificio (Comisión Europea, 2017), enteramente eléctrico, se debería al uso del sistema de calefacción. Sin embargo, el consumo energético teórico obtenido en la Certificación de Eficiencia Energética del Edificio (CEEE), de acuerdo con el RD 235/2013 (Ministerio, 2013), es de 193 kWh/m<sup>2</sup>año, un 72% más alto que el consumo medio del edificio (54,2 kWh/m<sup>2</sup>año). En la Figura 1 se muestran los consumos anuales de energía final por cada metro cuadrado útil de vivienda en los años 2014, 2015 y 2016 calculado a partir de las facturas energéticas recopiladas.

Con los trabajos de rehabilitación, se sustituyen las ventanas existentes por carpinterías con marco de aluminio con Rotura de Puente Térmico y vidrios 6/20/4, principalmente. A la fachada norte y forjados en contacto con el exterior, se añadirá un Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) con 10 cm de EPS. En las fachadas este y oeste, se colocan 18 cm de lana de roca con un revestimiento mixto en hormigón

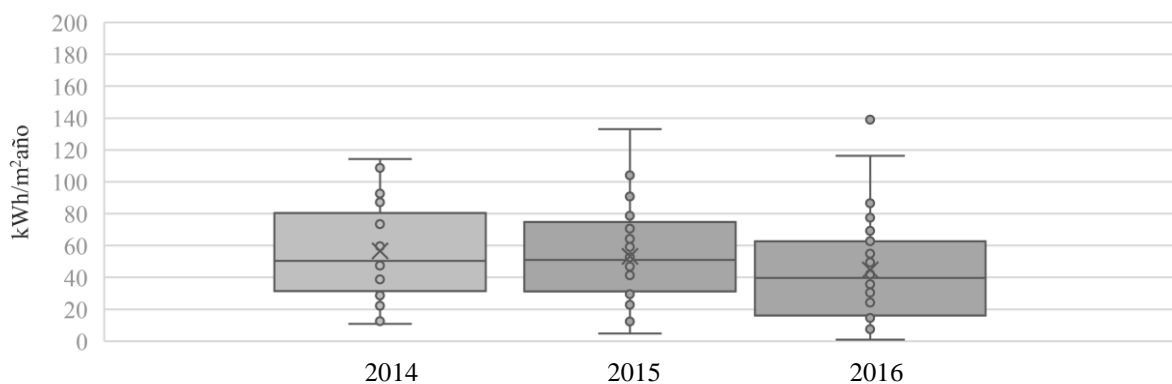


Fig. 1. Consumo de energía final reportado por las viviendas para los años 2014, 2015 y 2016 y consumo de energía final teórico obtenido en el CEEE.

polimérico y paneles fotovoltaicos sobre estructura de aluminio. En la fachada sur se dejará el ladrillo caravista al exterior en la mayor parte de la superficie y se insuflará lana de roca en las cámaras de aire existentes entre las hojas de fábrica.

#### B. Escenario e inventario ACV rehabilitación

El análisis se ha dividido en dos partes, la primera analiza el impacto medioambiental y de costes de ciclo de vida del edificio original, para posteriormente, añadir los efectos de realizar una rehabilitación en el año 2018. Tras la rehabilitación, se estima que es posible ampliar la vida útil del edificio 50 años, siguiendo los criterios establecidos por la ISO 15686-1:2011 (ISO/TC, 2011), durante los cuales se evaluará el

nuevo consumo energético y de agua, así como la reposición de equipos y materiales con vida estimada inferior al periodo de estudio. El consumo energético tomado para el estudio es el consumo real medio en el año 2015 y la disminución del consumo energético considera una reducción del consumo de climatización en un 80%, suponiendo el consumo de electrodomésticos medio de 2.100 kWh/vivienda (IDEA, 2011). Para la evaluación del impacto ambiental del edificio se supone un valor de mix eléctrico estático correspondiente a la base de datos Ecoinvent v2.2 para el consumo de energía eléctrica de red en baja tensión en España.

Las fases de producción y construcción, en términos económicos, consideran el valor de los materiales y la

TABLA I  
Resumen inventario de ACV-ACCV

Etapa de Producción			
Fachada exterior	SATE	1.663 m <sup>2</sup>	105.625,44 €
	Sistema fachada 'BuildHeat'	475 m <sup>2</sup>	
	Celosía	87 m <sup>2</sup>	
	Acabados de aluminio	172 m	
Forjado interior	Lana de roca en cámara de aire	37 m <sup>3</sup>	22.208,49 €
	Sustitución de falso techo	603 m <sup>2</sup>	
Forjado exterior	SATE	143 m <sup>2</sup>	31.703,92 €
	Lana de roca	54 m <sup>3</sup>	
Cubierta	Escaleras de aluminio	5 ud	60.816,46 €
	Lana de roca	298 m <sup>3</sup>	
	Losa filtrante	55 m <sup>2</sup>	
	Pasarela metálica	110 m <sup>2</sup>	
Huecos	Marcos de aluminio	580 m <sup>2</sup>	218.292,35 €
	Vidrio		
Instalaciones	ElfoPack + ElfoAir	53 ud	626.208,68 €
	PV + Inverter	5 ud/vivienda	
	Controlador	1 ud/vivienda	
Etapa de Construcción			
Gestión de residuos	No disponible		18.792,65 €
Control de calidad	No aplica		2.254,90 €
Seguridad y salud	No aplica		19.615,31 €
Gastos generales y beneficio industrial	No aplica		103.991,20 €
Etapa de Uso			
Consumo energía final <sup>1</sup>	33,9 kWh/m <sup>2</sup> año		7,48 €/m <sup>2</sup> año
Etapa de Fin de Vida			
Material añadido	(Ver etapa de producción)		No disponible
Material retirado	6.832 kg		
Carpinterías retiradas	580 m <sup>2</sup>		

TABLA II  
Balance Emisiones de CO<sub>2</sub>-eq al realizar la rehabilitación en el año 28

Calentamiento Global (kgCO <sub>2</sub> -eq/m <sup>2</sup> año)			
	Estado actual (50 años)	Rehabilitación (50 años)	Situación final (28 + 50 años)
Fase Producción	10,7	2,1	8,0
Fase Construcción	0,6	0,0	0,4
Fase de Uso	Electricidad + agua	21,0	23,8
	Sustitución de materiales	2,5	1,6
Fase Fin de Vida	0,5	0,0	0,3
<b>Total</b>	<b>44,7</b>	<b>24,7</b>	<b>35,0</b>

construcción del año de edificación (1990) actualizados a la fecha del estudio (2017), según la tasa promedio de incremento general de precios, que es de 3,93% de promedio anual. Con este valor, el factor de conversión de la inversión inicial a valor actual es de 2,72. Estos costes no incluyen IVA. En las fases de uso y fin de vida, de nuevo se ha tenido en cuenta el valor temporal del dinero usando una tasa de descuento del 2%, similar a la inflación esperada para el periodo (objetivo de la autoridad monetaria de la zona euro). El coste de electricidad promedio es de 0,22 €/kWh, sin IVA incluyendo término fijo y variable, así como el impuesto de la electricidad. Este coste ponderado por unidad consumida es muy alto debido al excesivo peso del término fijo por alta potencia contratada (promedio 4,3 kW) y bajos consumos en general. A continuación, se presenta un resumen del inventario de ACV que corresponde únicamente a la rehabilitación, aunque para la evaluación del edificio también se ha considerado el estado actual del inmueble.

A. Resultados de análisis de ciclo de vida medioambiental

En términos medioambientales, la rehabilitación supone, por un lado, el incremento del impacto embebido (impacto embebido recurrente) del edificio debido a la incorporación de nuevos productos y materiales constructivos, así como, por los trabajos de instalación; sin embargo, por otro lado, permitirá reducir la demanda y el consumo energético de las viviendas, disminuyendo el impacto medioambiental de la operación del edificio. Además, si la rehabilitación del edificio permite la ampliación de la vida útil del edificio, se podría optimizar el consumo de recursos de la construcción original como se refleja en la Tabla 2.

Considerando el consumo medio del edificio y suponiendo que la vida útil del edificio se alarga en 50 años con motivo de las obras de rehabilitación, el retorno medioambiental se produciría en el año 48 del edificio. Las viviendas que originalmente consumían por debajo del consumo teórico esperado tras la rehabilitación (50,8 kWh/m<sup>2</sup>año) no se espera que reduzcan el consumo energético, pero sí que aumentarán el número de horas/año que se encuentran a temperatura de confort. Cuanto mayor sea el consumo inicial, mayor beneficio

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

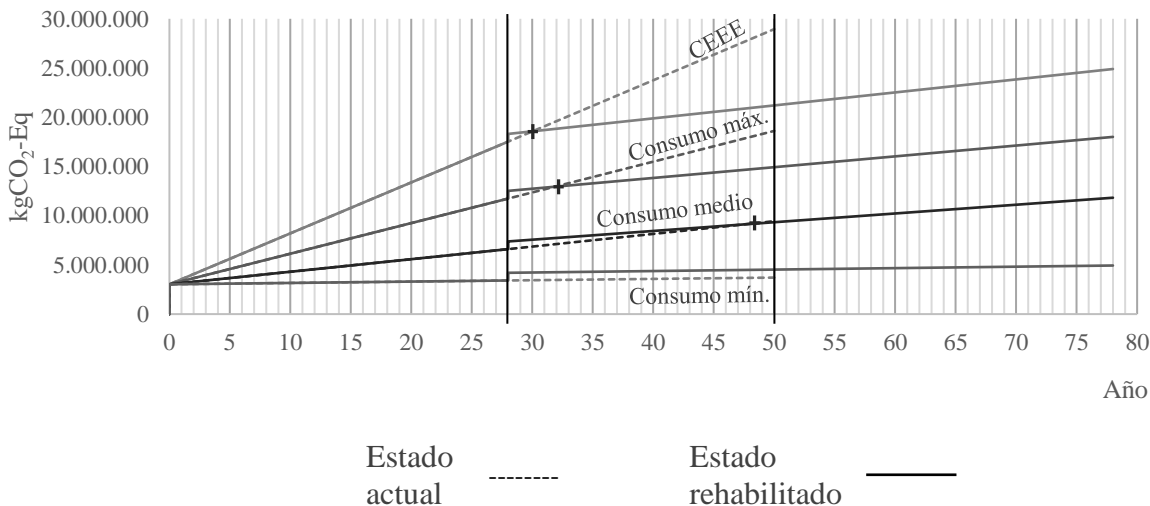


Fig. 2. Comparativa emisiones de CO<sub>2</sub>-Eq acumuladas del edificio considerando el consumo energético de i) CEEE, ii) Consumo real máximo, iii) Consumo real medio, iv) Consumo real mínimo.

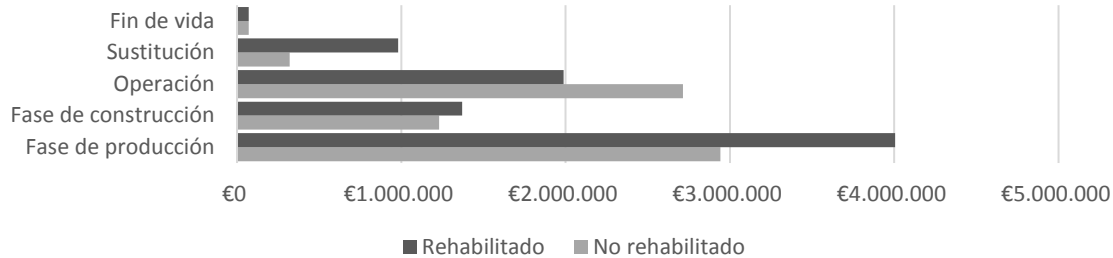


Fig. 3. Costes de ciclo de vida del edificio y la rehabilitación a 50 años en € de 2017.

ambiental relativo obtendrán, pudiendo alcanzar el payback, en términos de emisiones de CO<sub>2</sub> en el año 32 en el caso de la vivienda de mayor consumo del edificio.

### B. Resultados de análisis de costes de ciclo de vida

A continuación, se presentan los resultados teniendo en cuenta los costes de ciclo de vida de cada una de las etapas consideradas (incluyendo aquellas con la sustitución y fin de vida de los materiales incorporados). Los resultados obtenidos se muestran en la Figura. En la figura se aprecia que el 57% de los costes provienen de la producción y la construcción mientras que el 42% viene de la fase de uso. La fase de fin de vida no es significativa en costes. El coste final de ciclo de vida es de 7,4 millones de € de 2017. Los costes de la rehabilitación ascienden a 1,2 M€, incluyendo instalaciones y equipos, o aproximadamente 23.600 € por vivienda. El coste total descontado de la rehabilitación y los nuevos consumos a 50 años es 3,8 M€. La distribución de los costes de la rehabilitación por fase de ciclo de vida a 50 años se aprecia en la figura adjunta.

En la Tabla 3 se aprecia una ligera disminución de la fase de uso, debido al alto coste de los componentes empleados en la rehabilitación, y a la limitada vida útil de los mismos, establecida en 20 años. En un periodo de 50 años, estos elementos deberían reponerse 2,5 veces. Exceptuando los costes de los consumos, el resto de costes deben añadirse a los del edificio iniciales para calcular el nuevo coste de ciclo de vida del edificio rehabilitado. El coste total a 50 años del edificio rehabilitado es 8,4 M€ lo que representa un 12% más. El resultado comparativo con el edificio antes de la rehabilitación se muestra en la tabla siguiente.

### C. Resultados del comportamiento social del edificio

La evaluación del comportamiento social de los edificios se realiza mediante indicadores cualitativos y/o cuantitativos. A continuación, se realiza un resumen de los principales aspectos sociales de la etapa de uso/operación de acuerdo a la EN15643-3:2012.

**Accesibilidad.** Por un lado, en las inmediaciones del inmueble se dispone de acceso a dos líneas de autobús que lo comunican con el resto del barrio y de la ciudad. Por otro lado, el edificio carece, tanto en el estado actual como tras la rehabilitación, de ascensor u otras medidas de accesibilidad para personas con necesidades especiales y/o diversidad funcional. Sin embargo, en la redacción del proyecto original los arquitectos manifiestan que las viviendas en planta baja fueron proyectadas para Personas con Movilidad Reducida (PMR). Dado que la mayor parte de las obras de rehabilitación se desarrollan en el exterior del edificio, no se prevé que supongan un inconveniente a la accesibilidad ni realicen cambios significativos en este sentido.

**Adaptabilidad.** Las características originales del edificio permiten modificar las instalaciones existentes del edificio. Además, la principal intervención en la fachada se basa en una estructura modular que, podría admitir modificaciones en un futuro, así como el paso de ciertos elementos entre el acabado y la fachada original.

**Salud y confort.** Dado que algunos usuarios del edificio se encuentran en situación de pobreza o riesgo de pobreza energética, la mejora de las prestaciones de la envolvente permite alcanzar la temperatura de confort con un menor consumo de energía, así como evitar paredes frías e

TABLA III  
Comparación de costes de ciclo de vida del edificio antes y después de la rehabilitación a 50 años en € de 2017

Costes de ciclo de vida (€)				
	No rehabilitado	Rehabilitado	Diferencia	
Fase Producción	2,941,223 €	4,004,649 €	1,063,426 €	
Fase Construcción	1,229,106 €	1,370,924 €	141,818 €	
Fase de Uso	Electricidad + agua	2,714,560 €	1,986,866 €	-863,412 €
	Sustitución de materiales	320,735 €	981,000 €	660,265 €
Fase Fin de Vida	70,300 €	70,744 €	444 €	

infiltraciones de aire descontroladas. Asimismo, la rehabilitación permite subsanar y/o reducir el riesgo de patologías, como humedades.

**Impacto en el vecindario.** No se observan impactos significativos en el vecindario, salvo posibles emisiones de partículas y ruidos durante el desarrollo de las obras de rehabilitación

**Mantenimiento y mantenibilidad.** Los equipos y sistemas instalados disponen de recomendaciones para el mantenimiento preventivo.

**Seguridad.** El edificio no dispone, ni se esperan modificaciones, de elementos especiales o específicos relacionados con la seguridad.

## V. CONCLUSIONES

Debido a que el consumo energético del edificio está por debajo del consumo teórico acorde con sus características constructivas, la reducción del impacto medioambiental es inferior al correspondiente a la demanda del edificio. Incluso, se podría dar, en algunas viviendas, el efecto rebote conocido como ‘Paradoja de Jevons’ (Hache et al., 2017). Sin embargo, en términos sociales, se espera un aumento de las condiciones de habitabilidad y confort de las viviendas, así como de seguridad. Los resultados medioambientales se podrían mejorar con la incorporación de materiales de menor impacto ambiental y/o la recuperación de los materiales de rehabilitación durante la etapa de fin de vida del edificio. En términos de costes no se alcanza el retorno de la inversión en los primeros 50 años y habría que extender la vida del edificio hasta 112 años desde la fecha de construcción para alcanzar el punto de retorno de la inversión realizada en el año 2017. Aunque la energía ahorrada es eléctrica, la más cara en términos de energía final, el alto coste de las inversiones realizadas, la reposición probable cada 20 años por fin de vida y los bajos consumos iniciales de estas viviendas, hacen que la inversión planteada no tenga sentido desde un punto de vista económico de ciclo de vida. Para consumos mayores iniciales, y suponiendo un consumo final fijo de 33,9 kWh/m<sup>2</sup> y año, la inversión sí que podría alcanzar la viabilidad económica. El límite para alcanzar un retorno de la inversión en el año 50 tras la rehabilitación estaría en familias con un consumo inicial de 70 kWh/m<sup>2</sup> y año. Teniendo en cuenta que el consumo promedio en un edificio para una familia en España es de 100 kWh/m<sup>2</sup>año (Comisión Europea, 2017), cantidad que exceden algunas viviendas del bloque analizado, este escenario es totalmente posible para el promedio de consumos domésticos actuales del país, pero no parece viable en el caso de vivienda social como promedio.

## AGRADECIMIENTOS

Este documento se ha desarrollado bajo el marco del proyecto ‘Standardised approaches and products for the systemic retrofit of residential Buildings, focusing on HEATING and cooling consumptions attenuation’ BuildHeat financiado por la Unión Europea, por el programa Horizon 2020 Innovation Framework Programme, con número de proyecto 680658.

## REFERENCIAS

- Adiego, E., Gil, S., Asensio, A., Burillo, E. (1988). «Memoria de proyecto Edificio de 53 viviendas de protección oficial».
- Asociación de Ciencias Ambientales (ACA). (2016). «III Estudio de Pobreza Energética (Pobreza, vulnerabilidad y desigualdad energética). Nuevos enfoques de análisis».
- Carawell, A. (2012). *The Encyclopedia of Housing*, 2ª Edición a cura di, SAGE Publications.
- Comisión Europea, (2017). «EU Buildings Database».
- COTEC. (2008). Commission of the European Communities (COTEC). “Commission staff working document-accompanying document to the proposal for a recast of energy performance of buildings directive (2002/91/EC)- Summary of the impact assessment”.
- CTN 198. (2012). SOSTENIBILIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN, «UNE-EN 15643-2:2012. Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 2: Marco para la evaluación del comportamiento ambiental».
- CTN 198. (2011). SOSTENIBILIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN, «UNE-EN 15643-3:2012. Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 3: Marco para la evaluación del comportamiento social».
- CTN 198. (2012\*). SOSTENIBILIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN, «UNE-EN 15643-4:2012. Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 4: Marco para la evaluación del comportamiento económico».
- European Commission. (2013) «Energy-efficient buildings: multi-annual roadmap for the contractual PPP under Horizon 2020.».
- European Commission, (2010). «Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings,» Official Journal of the European Union.

- European Commission, (2012). «Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC,» Official Journal of the European Union 315.
- Eurostat (2017). «Estadísticas sobre vivienda».
- Gentil, E., Damgaard, A., Hauschild, M., Finnvede, G., Eriksson, O., Thorneloe, S., Kaplan, P., Barlaz, M., Muller, O., Matsui, Y., Ii, R., Christensen, T. (2010). «Models for waste life cycle assessment: review of technical assumptions,» Waste Management, vol. 30, pp. 2636-2648.
- Gobierno de España, Real Decreto 697/2017, 6 de octubre, por el que se regula la figura del consumidor vulnerable, el bono social y otras medidas de protección para los consumidores domésticos de energía eléctrica.
- Guajardo, A. (2016). «Análisis tipológico de bloques líneas de vivienda social: España 1950-1983. El caso de Andalucía occidental,» Informes de la Construcción, vol. 69, n. 545.
- Hache, E., Leboulenger, D., Mignon, V. (2017). “Beyond average energy consumption in French residential housing market: A household classification approach,” Energy policy, vol. 107, pp. 82-95.
- IDAE. (2011). Secretaría General. Departamento de Planificación y estudios, «Análisis del consumo energético del sector residencial en España. PROYECTO SECH-SPAHOUSEC».
- Instituto Nacional de Estadística. (2011). Censo de Población y Viviendas.
- Intergovernmental, (2007). Climate Change, «The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC,» Cambridge University Press.
- International Organisation for Standardisation, (2006). «ISO 14040:2006, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework, in International Organization for Standardization,» Geneva, Switzerland.
- International Organisation for Standardisation, (2006\*). «ISO 14044:2006, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines, in International Organization for Standardization,» Geneva, Switzerland.
- ISO/TC 59/SC 14 (2011) - Design life, «ISO 15686-1:2011. Buildings and constructed assets -- Service life planning -- Part 1: General principles and framework».
- Ministerio de Energía, Turismo y Agenda digital. (2017).
- Ministerio de la Presidencia. (2013). Gobierno de España, Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W., Suh, S., Weidema B., Pennington, D. (2004) «Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications,» Environment International, n. 30, pp. 701-720.
- Selectra, (2016). «¿Cómo funcionan las ayudas a las facturas de luz y gs en Europa? Comparación entre países y propuestas de mejora,».
- Vilches, A. García-Martínez, A., Sánchez-Montañés, B. (2016). «Life Cycle Assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review,» Energy and Buildings, n. 135, pp. 286-301.



**Reconocimiento – NoComercial (by-nc):** Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.