

05-002

ENERGY EFFICIENCY OF HOUSING IN THE SPANISH REAL ESTATE BUBBLE. A CASE STUDY

Piñero Vilela, José María; Cerezo Narváez, Alberto; Sánchez De La Flor, Francisco José; Otero Mateo, Manuel; Pastor Fernández, Andrés

Universidad de Cádiz

This research seeks to quantify the economic condemnation that residential buildings' end users have to endure, despite being built in the middle of the last decade, in full real estate bubble. They strictly comply with the Basic Building Standard CT-79 on thermal conditions of buildings, prior to the entry into force of the Technical Building Code in 2006 and its modifications related to energy efficiency in 2013, 2017 and 2018. Using the case study methodology, the energy efficiency of a detached single-family house in the coastal area of the province of Cadiz is analysed. Based on the analysis of the thermal behaviour of the house in its current state, 2 alternative cases are proposed (rehabilitation of the existing house and an adapted new one) modifying the constructive characteristics of its envelope, which can be catalogued as a nearly zero-energy building. Despite the fact that it is located in a climate that is not excessively severe in either summer or winter, in both cases energy demands are reduced by around 60-70% in heating and 15-20% in cooling, with costs whose return can be fully depreciated in its remaining life cycle.

Keywords: *energy efficiency; Spanish real estate bubble; nearly zero-energy building; housing rehabilitation; thermal envelope; Technical Building Code*

EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS VIVIENDAS DE LA BURBUJA INMOBILIARIA. ESTUDIO DE CASO

Esta investigación trata de cuantificar la condena económica que han de soportar los usuarios finales de las edificaciones residenciales que, a pesar de estar construidas a mediados de la década pasada, en plena burbuja inmobiliaria, cumplen estrictamente la Norma Básica de la Edificación CT-79 sobre condiciones térmicas en los edificios, anterior a la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación en 2006 y sus modificaciones en materia de eficiencia energética de 2013, 2017 y 2018. Mediante la metodología de estudio de casos, se analiza la eficiencia energética de una vivienda unifamiliar adosada en el entorno costero de la provincia de Cádiz. A partir del análisis del comportamiento térmico de la vivienda en su estado actual, se proponen 2 casos alternativos (rehabilitación de vivienda existente y obra nueva adaptada) modificando las características constructivas de su envolvente, que pueden catalogarse como edificios de consumo casi nulo. A pesar de que se localiza en un clima no excesivamente severo ni en verano ni en invierno, en ambos casos se logran disminuir las demandas energéticas en torno al 60-70% en calefacción y 15-20% en refrigeración, con unos costes cuyo retorno puede amortizarse íntegramente en lo que les resta de ciclo de vida.

Palabras clave: *eficiencia energética; burbuja inmobiliaria en España; edificio de consumo casi nulo; rehabilitación de vivienda; envolvente térmica; Código Técnico de la Edificación*

Correspondencia: Alberto Cerezo Narváez alberto.cerezo@uca.es



©2019 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

El crecimiento urbano desde la “burbuja inmobiliaria” ha producido en España un cambio significativo en lo relativo a las densidades edificatorias, bajando sustancialmente y situándose por debajo de las 35 viviendas por hectárea (Pozueta, 2015). La legislación actual, lejos de restringir la expansión del crecimiento urbano por ocupación del espacio rural, lo fomenta desregulando el uso del suelo no urbanizable (Jiménez et al., 2018). Las menores densidades urbanas, elevadas pérdidas de cobertura de suelo no urbano, despoblación de los núcleos interiores metropolitanos y la expansión de las infraestructuras de transporte confirman la generalización del modelo urbano disperso, en el que destaca la importancia de las viviendas unifamiliares (Catalán, Saurí y Serra, 2008; Gil, Bayona y Pujadas, 2013).

En paralelo a este desarrollo desmedido de la sociedad urbana, crece la tendencia alcista de los precios de la energía (Faiella & Mistretta, 2018), lo que hace necesaria la aplicación de medidas orientadas a la optimización de la demanda y fomento del ahorro y eficiencia energética (Merini et al., 2019). Asimismo, los edificios son grandes consumidores de energía y materiales, e importantes productores de residuos y emisiones. A este respecto, las viviendas se encuentran ante el desafío de conseguir una gestión energética que les permita contribuir al crecimiento económico, bienestar social y sostenibilidad de los recursos no renovables y a la preservación del medio natural (Duarte, Sánchez y Sarasa, 2018).

Sin embargo, en pleno siglo XXI no sólo no se erradica, sino que aumenta el protagonismo del concepto de pobreza energética en los hogares españoles, estatus que se alcanza bien cuando se es incapaz de hacer frente a los costes que implican satisfacer las necesidades domésticas, o bien cuando se destina una fracción excesiva de los ingresos a pagar la factura energética para atenderlas (Tirado et al., 2012). Para invertir esta tendencia, es necesario actuar sobre la causa raíz: edificios antiguos o nuevos, de baja calidad constructiva, que derivan en altos consumos energéticos.

España ha generado en los últimos años un intenso desarrollo de nuevas normativas en la búsqueda de un mejor rendimiento energético y mayor sostenibilidad en sus edificios, tanto de titularidad pública como privada, ya sean viviendas o dotaciones, equipamientos, comercios e industrias. En este contexto, cabe destacar que, como consecuencia de la transposición de la Directiva 2002/91/EC (Unión Europea, 2003), se aprueba el Código Técnico de la Edificación **-CTE-** (España, 2006), así como un procedimiento de Certificación Energética de Edificios (España, 2013a), transposición de la Directiva 2010/31/EU (Unión Europea, 2010), y un nuevo Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (España, 2013b), transposición de la Directiva 2012/27/EU (Unión Europea, 2012).

Las directivas 2010/31/EU y 2012/27/EU establecen una obligación específica para los Estados miembros, España incluida, de elaborar planes nacionales para aumentar el número de Edificios de consumo Energético Casi Nulo **-EECN-**. Estos planes deben incluir la definición detallada del propio concepto, de manera que se reflejen sus condiciones nacionales, regionales y/o locales, además de incluir un indicador numérico del uso de energía primaria, expresado en kilovatio hora por metro cuadrado y año **-kWh/m²a-**.

En el caso de España, las edificaciones nuevas han de ser de consumo de energía casi nulo a partir del pasado 31 de diciembre de 2018 para las que sean de titularidad pública, y a partir del próximo 31 de diciembre de 2020 para el resto de edificios (Assiego, 2015). En términos de ahorro energético, el vigente Documento Básico de Ahorro Energético **-DBHE-** (España, 2017a) de 2017 es la segunda revisión del original de 2006 -la primera revisión data de 2013-. No obstante, se encuentra ya disponible el borrador de la nueva versión que prevé su puesta en vigor para mediados de 2019 (España, 2018), si bien debería haber sido aprobado y publicado antes del final de 2018, para dar cobertura a las directivas EECN.

De acuerdo a los datos publicados por el Ministerio de Fomento (España, 2019), se construyen en España más de cuatro millones de viviendas en la década comprendida entre 2001 y 2010, de las cuales algo más de cien mil se localizan en la provincia de Cádiz, como muestra la Tabla 1. En materia de eficiencia energética, estas viviendas de “nueva” construcción cumplen con la Norma Básica de la Edificación sobre Condiciones Térmicas en los Edificios CT-79 (España, 1979), normativa obligatoria hasta la entrada en vigor del CTE, que si bien se publica en 2006 no entra en vigor hasta 2008 para los proyectos edificatorios que solicitan en la administración pública correspondiente -municipal y/o autonómica- la preceptiva licencia o autorización de obras previa al inicio de las mismas, por lo que las últimas viviendas anteriores al CTE se van entregando en 2009 y 2010.

Asimismo, en materia estructural, se rigen por la Norma Básica de la Edificación sobre Hormigón Estructural EHE-98 (España, 1999), que establece un ciclo de vida estándar de 50 años, si bien puede extenderse hasta los 75-100 años con el debido mantenimiento de las estructuras y uso adecuado de los edificios. Por lo tanto, las viviendas construidas en la década referida todavía han de subsistir un mínimo de 30-40 años, extensible a casi 55-90 años en condiciones favorables.

Tabla 1: Viviendas de nueva construcción en la década 2001-2010

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Década
España	453.548	439.102	491.541	509.432	566.390	541.194	534.749	338.411	198.125	142.802	4.215.294
Cádiz	15.590	14.939	14.132	12.007	18.914	16.246	14.129	6.499	2.401	1.757	116.614

2. Metodología

La metodología utilizada en esta investigación es el estudio de casos, mediante la descripción detallada y análisis de una entidad edificatoria única -vivienda unifamiliar adosada en hilera-, estudiando sus particularidades y complejidades -su definición constructiva, envolvente térmica, instalaciones residenciales, orientación y localización, etc.-, con el fin de llegar a comprender sus circunstancias específicas. Con una adecuada selección de los casos de estudio, se pueden controlar variables exógenas, definir elementos de análisis, discutir resultados, afinar conceptos, desarrollar modelos teóricos y concluir en profundidad a partir de los hallazgos. En resumen, este método presenta una serie de ventajas, entre las que cabe destacar que:

- No separa el fenómeno de su contexto (Bonache, 1999), desde un modelo teórico preliminar hacia un modelo explicativo más completo (Yin, 1984).
- Permite crear nuevas teorías, verificando su aplicación práctica (Eisenhardt, 1989).
- Analiza en profundidad la complejidad del fenómeno estudiado (Benbasat, Goldstein y Mead, 1987).
- Considera los puntos de vista de todas las personas y entidades involucradas (Vargas, Arandia y Cordova, 2016).

3. Objetivo

En esta investigación se estudia la eficiencia energética de una vivienda unifamiliar adosada en la provincia de Cádiz, que es entregada a sus propietarios a finales de 2009, por lo que se halla con 10 años de vida y le resta, en el peor de los casos, una vida útil de 40 años. El objetivo de este trabajo es evaluarla energéticamente y cuantificar el impacto económico -confrontando la inversión con el ahorro para determinar el retorno de la misma- de llevar a cabo una serie de intervenciones, tanto en la envolvente térmica -modificando su definición constructiva- y a nivel de instalaciones -incorporando energías renovables-, planteando una serie de escenarios de mejora y adaptando el resultado a la normativa, vigente y en trámite.

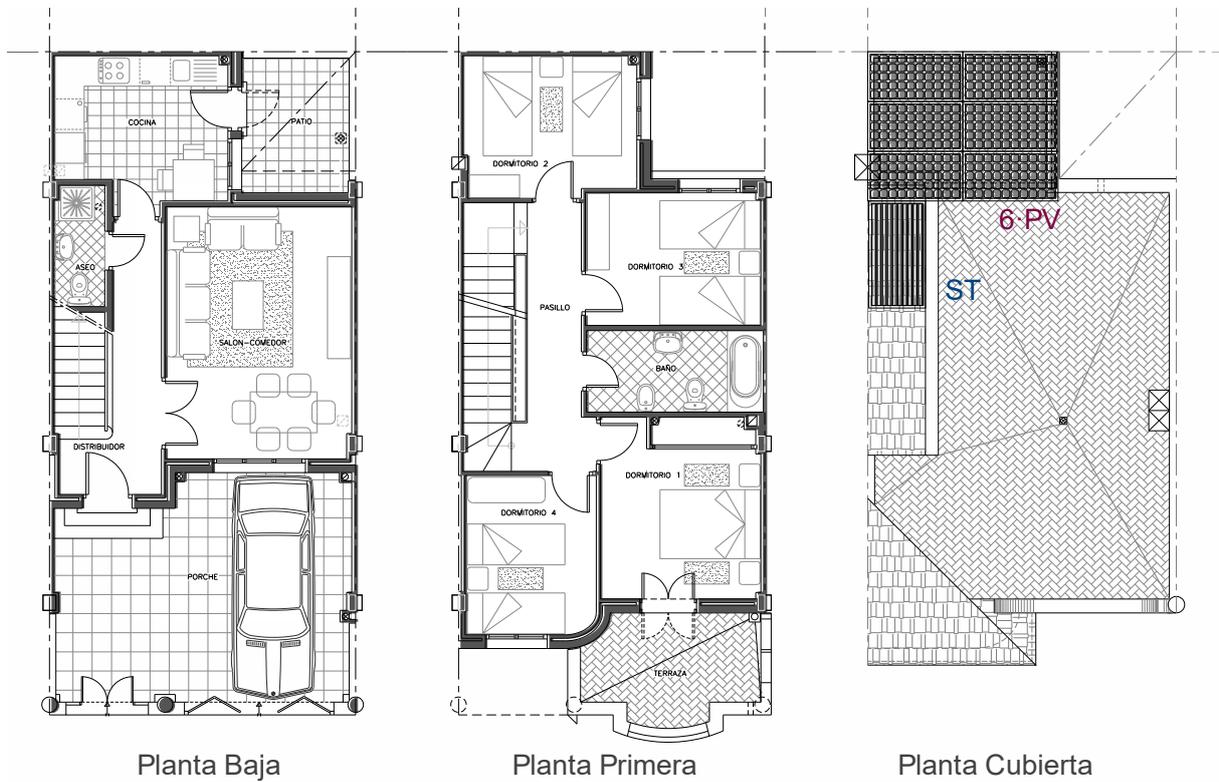
4. Caso de estudio

La vivienda objeto de estudio, construida durante los años 2008-2009 y, por tanto, anterior a la puesta en marcha del CTE, se ubica en San Fernando-Cádiz, zona climática A3, con orientación 26° N, cuyo emplazamiento se muestra en la Figura 1. Con una superficie construida de 115 m², consta de 2 plantas habitables con azotea transitable, con un programa de 4 dormitorios, 2 baños, salón y cocina, como se muestra en la Figura 2.

Figura 1: Emplazamiento del Caso de Estudio.



Figura 2: Plantas Baja, Primera y Cubierta del Caso de Estudio.



4.1 Descripción de la vivienda

A partir de la base de una vivienda tipo, se plantean una serie de estados de mejora de la eficiencia energética, mediante la modificación de su envolvente e incorporación de energías renovables, lo que da lugar a las siguientes 7 alternativas:

- E11. Escenario base.
- E12. Escenario base e instalación Solar Térmica **-ST-** y Fotovoltaica **-PV-**.
- E21. Rehabilitación de la envolvente térmica
-sólo cerramientos, cubierta y solera en contacto con el terreno-.
- E22. Rehabilitación de la envolvente térmica e instalación ST y PV.
- E31. Rehabilitación completa.
-cerramientos, cubierta, solera, tabiques, medianeras y forjados intermedios-.
- E32. Rehabilitación completa e instalación ST y PV.
- E41. Simulación de obra nueva -alternativa constructiva a la solución proyectual-.
- E42. Simulación de obra nueva e instalación ST y PV.

4.2 Envolvente térmica de la vivienda

El método de cálculo de los parámetros característicos de los elementos que componen la envolvente térmica de los 4 pares de casos se realiza mediante el método de cálculo de la transmitancia térmica de estos elementos -envolvente en contacto con el aire exterior, envolvente en contacto con el terreno, tabiques interiores en contacto con espacios no habitables y huecos y lucernarios-, según las directrices del DBHE, tanto en su versión vigente de 2017 como en la siguiente de 2018, actualmente en tramitación y próxima a su publicación oficial a mediados de 2019.

En las Tablas 2-4, se resumen los principales componentes de los elementos que conforman la envolvente térmica, tanto en el escenario base como en las mejoras propuestas (caso de afrontar una rehabilitación en 2019, estados 2-3, caso de haber construido con mejores calidades desde el punto de vista energético, estado 4). Para ello, se utiliza como base de elementos constructivos y banco de precios el programa de mediciones, presupuestos y control de obra Arquímedes de CYPE Ingenieros (CYPE Ingenieros, 2018), en su versión 2018.m, incluyéndose el código alfanumérico de cada elemento, a fin de asegurar su trazabilidad, resaltando el objeto de la intervención y dimensionado su espesor.

Tabla 2: Solera en Contacto con el Terreno del Caso de Estudio.

Solera en Contacto con el Terreno								
Código	Concepto	Espesor *	Código	Concepto	Espesor *	Código	Concepto	Espesor *
						NAM030	Poliestireno XPS	30
ANS010	Solera HA	150	ANS010	Solera HA	150	ANS010	Solera HA	150
RSB012	Autonivelación	40	RSB012	Autonivelación	40	RSB012	Autonivelación	40
RSB005	Cama De Arena	30	RSB005	Cama De Arena	30			
RSC010	Terrazo	40	RSC010	Terrazo	40			
			DRS010	Desmontado	-70			
			NAM030	Poliestireno XPS	30			
			RSB011	Recrecido	25	RSB011	Recrecido	25
			RSG010	Porcelánico	15	RSG010	Porcelánico	15

* Cotas en milímetros

■ Escenario base ■ Rehabilitación ■ Obra nueva

Tabla 3: Cerramientos Verticales Exteriores del Caso de Estudio.

Fachada Principal								
Código	Concepto	Espesor *	Código	Concepto	Espesor *	Código	Concepto	Espesor *
			RFP010	Pintado Exterior		RFP010	Pintado Exterior	
			NAS002	Sistema ETICS	60	NAS002	Sistema ETICS	60
RFP010	Pintado Exterior		DRF010	Picado Exterior	-5			
RPE010	Enfoscado	15	RPE010	Enfoscado	15	RPE010	Enfoscado	15
FFZ015	½ Pie LP	125	FFZ015	½ Pie LP	125	FFZ015	½ Pie LP	125
RPE011	Embarrado	10	RPE011	Embarrado	10	RPE011	Embarrado	10
NAF020	Proyectado PUR	20	NAF020	Proyectado PUR	20			
	Cámara	25	NAE010	Insuflado PUR	25			
FFR010	Tabique LHD	50	FFR010	Tabique LHD	50	NAO030	Trasdosado Lana	45
RPG010	Guarnecido	15	RPG010	Guarnecido	15	RRY005	Doble Placa YL	25
RIP030	Pintado Interior		DRF020	Picado Interior	-5			
			RKT010	Revestido	10			
			RIP030	Pintado Interior		RIP030	Pintado Interior	
Fachada Húmeda								
Código	Concepto	Espesor *	Código	Concepto	Espesor *	Código	Concepto	Espesor *
			RFP010	Pintado Exterior		RFP010	Pintado Exterior	
			NAS002	Sistema ETICS	60	NAS002	Sistema ETICS	60
RFP010	Pintado Exterior		DRF010	Picado Exterior	-5			
RPE010	Enfoscado	15	RPE010	Enfoscado	15	RPE010	Enfoscado	15
FFZ015	½ Pie LP	125	FFZ015	½ Pie LP	125	FFZ015	½ Pie LP	125
RPE011	Embarrado	10	RPE011	Embarrado	10	RPE011	Embarrado	10
NAF020	Proyectado PUR	20	NAF020	Proyectado PUR	20			
	Cámara	25	NAE010	Insuflado PUR	25			
FFR010	Tabicón LHD	70	FFR010	Tabicón LHD	70	NAO030	Trasdosado Lana	70
RPE012	Mortero Base	10	RPE012	Mortero Base	10	RRY005	Simple Placa YL	15
RAG011	Alicatado	10	RAG011	Alicatado	10			
			DRA010	Desmontado	-10			
			RKT010	Revestido	5			
			RAG011	Alicatado	10	RAG011	Alicatado	10
Fachada Castillete								
Código	Concepto	Espesor *	Código	Concepto	Espesor *	Código	Concepto	Espesor *
			RFP010	Pintado Exterior		RFP010	Pintado Exterior	
			NAS002	Sistema ETICS	60	NAS002	Sistema ETICS	60
RFP010	Pintado Exterior		DRF010	Picado Exterior	-5			
RPE010	Enfoscado	15	RPE010	Enfoscado	15	RPE010	Enfoscado	15
FEF010	1 Pie LP	250	FEF010	1 Pie LP	250	FEF030	Termoarcilla	190
RPG010	Guarnecido	15	RPG010	Guarnecido	15	RPE011	Embarrado	10
RIP030	Pintado Interior		DRF020	Picado Interior	-5	NAO030	Trasdosado Lana	45
			RKT010	Revestido	10	RRY001	Doble Placa YL	25
			RIP030	Pintado Interior		RIP030	Pintado Interior	

* Cotas en milímetros

■ Escenario base ■ Rehabilitación ■ Obra nueva

Tabla 4: Cerramientos Horizontales Exteriores del Caso de Estudio.

Cubierta con Falso Techo								
Código	Concepto	Espesor *	Código	Concepto	Espesor *	Código	Concepto	Espesor *
			QAB012	Cubierta	235	QAB012	Cubierta	235
			DQA010	Demolición	-180			
QAB010	Cubierta	180	QAB010	Cubierta	180			
EHU015	Forjado	300	EHU015	Forjado	300	EHB070	Sistema FOREL	330
	Cámara	100		Cámara	100		Cámara	75
RTA010	Escayola	20	RTA010	Escayola	20	RTC015	Simple Placa YL	15
RIP030	Pintado Interior		RIP030	Pintado Interior		RIP030	Pintado Interior	
Cubierta sin Falso Techo								
Código	Concepto	Espesor *	Código	Concepto	Espesor *	Código	Concepto	Espesor *
			QAB012	Cubierta	235	QAB012	Cubierta	235
			DQA010	Demolición	-180			
QAB010	Cubierta	180	QAB010	Cubierta	180			
EHU015	Forjado	300	EHU015	Forjado	300	EHB070	Sistema FOREL	330
RPG010	Guarnecido	15	RPG010	Guarnecido	15	RTC015	Simple Placa YL	15
RIP030	Pintado Interior		RIP030	Pintado Interior		RIP030	Pintado Interior	
Cubierta Castillete								
Código	Concepto	Espesor *	Código	Concepto	Espesor *	Código	Concepto	Espesor *
QTT210	Cubierta	210	QTT210	Cubierta	210	QTT210	Cubierta	210
EHL010	Losa HA	150	EHL010	Losa HA	150	EHL010	Losa HA	150
RPG010	Guarnecido	15	RPG010	Guarnecido	15	RPE011	Embarrado	10
RIP030	Pintado Interior		NAO030	Trasdosado Lana	45	NAO030	Trasdosado Lana	45
			RTC015	Simple Placa YL	15	RTC015	Simple Placa YL	15
			RIP030	Pintado Interior		RIP030	Pintado Interior	

* Cotas en milímetros

■ Escenario base ■ Rehabilitación ■ Obra nueva

4.3 Simulación energética

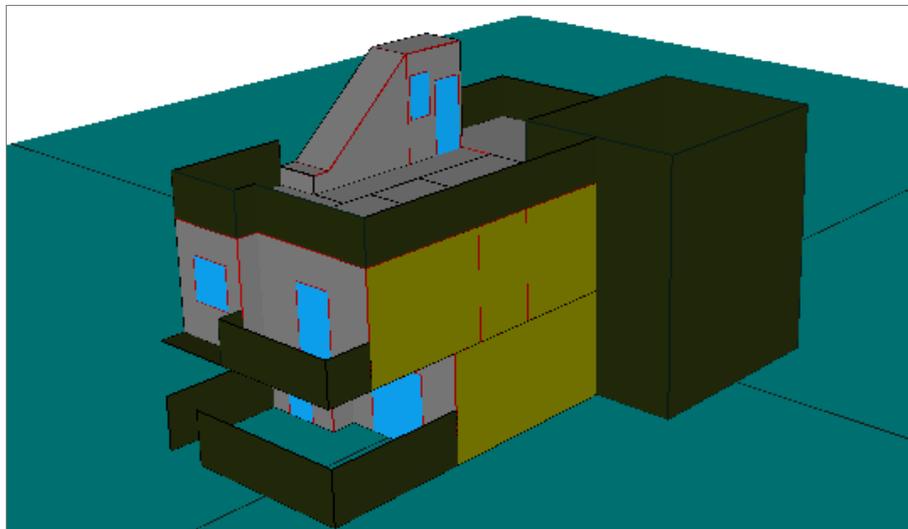
Se realiza la simulación de los escenarios para la evaluación de la demanda de energía mediante la Herramienta Unificada Lider-Calener **-HULC-** (España, 2017b), aprobada por el Ministerio de Fomento para la evaluación de demandas, consumos y emisiones de CO₂. A pesar de ser la herramienta oficial de certificación energética en España, se pueden utilizar otras homologadas -como CYPETHERM HE Plus, SG SAVE y los programas simplificados CE3, CE3X y CERMA-. Esta herramienta incluye una interfaz gráfica para la representación 3D de los edificios y realiza una simulación horaria considerando un régimen de transición, considerando el acoplamiento térmico entre zonas adyacentes y su inercia térmica.

4.3.1. Estado Base

La vivienda tipo tiene un volumen total de 345 m³. A nivel de requisitos, ha de disponer de un sistema de ventilación de 33 l/s de acuerdo al DBHS-3, correspondiente a cumplir una tasa de 0,4 renovaciones por hora. Asimismo, según el DBHE-4, la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) es de 28 l/día por usuario -140 l/día, al ser 5 ocupantes-. En su estado primigenio, la vivienda parte de una instalación de gas natural para satisfacer la demanda de Agua Caliente Sanitaria **-ACS-** y de un sistema de climatización de Caudal de Refrigerante Variable **-VRF-** para los recintos acondicionados, salón y dormitorios.

En la Figura 3 se presenta la vivienda modelizada en HULC, definiendo ubicación, orientación, renovación, envolvente -presentada en las Tablas 2-4- y los sistemas con los que cuenta inicialmente para contribuir a las demandas de ACS, Calefacción -CAL- y Refrigeración -REF-:

Figura 3: Modelo 3D del Caso de Estudio en HULC.



4.3.2 Propuestas de Mejora

Como alternativas al estado inicial, y con objeto de estudiar la “condena” energética en la que se hallan este tipo de viviendas, se proponen una serie de mejoras de la envolvente térmica, así como de sus particiones interiores y medianeras. En la Tabla 5 se muestran los valores de transmitancia térmica para los 4 pares de escenarios de estudio, cumpliéndose el vigente DBHE en los estados E2-4 y en trámite -borrador- en los estados E3-4.

Tabla 5: Transmitancia térmica de los Elementos Constructivos del Caso de Estudio.

Elemento	E1	E2	E3	E4
Fachada Principal (Seca)	0,73	0,26	0,26	0,26
Fachada Húmeda	0,71	0,27	0,27	0,26
Fachada Castillete	1,60	0,38	0,38	0,25
Cubierta CON Falso Techo	0,92	0,32	0,32	0,19
Cubierta SIN Falso Techo	1,17	0,35	0,35	0,20
Solera	2,46	0,62	0,62	0,62
Cubierta Castillete	3,86	0,43	0,43	0,43
Voladizo	2,13	0,40	0,40	0,37
Forjado Entreplanta	1,36	1,36	0,68	0,34
Tabique Seco	2,44	2,44	1,02	0,48
Tabique Húmedo	2,17	2,17	1,22	0,50
Tabique Semi-Húmedo	2,17	2,17	1,08	0,49
Medianera Seca	2,66	2,66	1,05	0,46
Medianera Húmeda	2,65	2,65	1,24	0,48
Huecos	3,54	1,95	1,95	1,95
K global (límite legal $\leq 0,62$)	1,93	0,62	0,62	0,54

Nota: datos en $W/m^2 \cdot K$

Asimismo, para los 4 pares de estados -base, 2 rehabilitaciones y obra nueva-, se incluye una variante incorporando una instalación ST que cubre el 75% de la demanda de ACS, y una instalación PV con conexión a red, para reducir el consumo de los equipos para CAL y REF. Para ello, se reservan dos espacios en cubierta: en el tejado del castillete para las placas ST y en la parte trasera, a modo de pérgola, para las placas PV.

5. Resultados

En primer lugar, se presentan los resultados a nivel de demanda y consumo energético, para los 8 escenarios planteados -4 pares de estados-. A continuación, se estudia la factura energética, considerando los consumos resultantes, tanto de gas natural como de electricidad. Seguidamente, se presentan los presupuestos económicos de dichos escenarios. Para finalizar, se analiza la recuperación de la inversión.

5.1 Resultados a nivel energético

En la Tabla 6 se muestran las demandas energéticas de calefacción y refrigeración de los 8 escenarios objeto de estudio.

Tabla 6: Demanda energética de los Escenarios del Caso de Estudio.

Régimen	E11	E12	E21	E22	E31	E32	E41	E42
CAL	41,30	41,39	5,91	5,94	5,86	5,83	4,83	4,84
REF	12,58	11,72	8,75	8,52	8,40	8,11	8,56	8,32
CAL+REF	53,88	53,11	14,66	14,46	14,26	13,94	13,39	13,16

Nota: datos en kWh/m²·año

A continuación, y a partir de la demanda energética, teniendo en cuenta los rendimientos de los equipos instalados -rendimientos COP y EER, mix energético, etc.-, y la relación de espacios habitables acondicionados y no acondicionados, se pueden calcular los consumos energéticos de los equipos instalados para satisfacer las demandas. El escenario base E1 cuenta ya con unos equipos de climatización -CAL y REF- cuyos rendimientos COP y EER son de 2,4 y 2,2 respectivamente, así como una caldera ACS con un rendimiento de 0,85. En la Tabla 7 se sintetizan los valores de consumo de los equipos, tanto eléctrico -para CAL y REF- como de gas natural -para ACS-. No obstante, estos equipos se mantienen en los 7 escenarios de mejora, por lo que no es necesario su reemplazo hasta el final de su vida útil.

Tabla 7: Consumos Eléctrico y de Gas Natural de los Equipos Instalados.

Fuente de Energía	E11	E12	E21	E22	E31	E32	E41	E42
Electricidad:								
CAL	11,24	11,26	1,61	1,62	1,60	1,59	1,31	1,32
REF	3,73	3,48	2,60	2,53	2,49	2,41	2,54	2,47
CAL+REF	14,97	14,74	4,20	4,14	4,09	4,00	3,86	3,79
Gas Natural:								
ACS	27,07	5,85	27,07	5,85	27,07	5,85	27,07	5,85

Nota: datos en kWh/m²·año

A partir de los consumos de energía final de cada escenario, incluyendo tanto los espacios acondicionados como los no acondicionados, se obtienen los valores de energía primaria no renovable, considerando los factores de emisión de CO₂ y de paso a energía primaria recogidos en el documento del Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía -IDAE- (España, 2014). Estos valores se recopilan en la Tabla 8.

Tabla 8: Consumos de Energía Primaria NO Renovable de los Escenarios del Caso de Estudio.

Régimen	E11	E12	E21	E22	E31	E32	E41	E42
CAL	39,12	39,73	5,77	5,80	5,65	5,68	4,64	4,65
REF	10,67	10,06	7,73	7,47	7,42	7,16	7,56	7,34
ACS	32,21	6,97	32,21	6,97	32,21	6,97	32,21	6,97
Global (≤ 50)	82,01	56,76	45,71	10,20	45,28	10,00	44,41	9,40

Nota: datos en kWh/m²·año

■ Incumplimiento de normativa vigente (≤ 50)

5.2 Facturación eléctrica y de gas natural

En la Tabla 9 se presentan los valores de la energía, unitarios por m², que no son capaces de auto-generar los 8 escenarios del Caso de Estudio y, por tanto, han de ser suministrados por las compañías suministradoras, tanto de electricidad -para calefacción y refrigeración- como de gas natural -para agua caliente sanitaria-.

Tabla 9: Consumos de la Factura Eléctrica y de Gas Natural.

Fuente de Energía	E11	E12	E21	E22	E31	E32	E41	E42
Electricidad:								
CAL	11,24	7,00	1,61	0,86	1,60	0,82	1,31	0,65
REF	3,73	2,62	2,60	1,67	2,49	1,57	2,54	1,66
CAL+REF	14,97	9,62	4,20	2,53	4,09	2,39	3,86	2,31
Gas natural:								
ACS	27,07	5,85	27,07	5,85	27,07	5,85	27,07	5,85

Nota: datos en kWh/m²·año

5.3 Presupuesto de los escenarios de estudio

En la Tabla 10 se adjuntan los presupuestos necesarios para realizar los escenarios del Caso de Estudio, incluido el estado base y las mejoras para reducir los consumos energéticos. Estos precios incluyen los distintos costes asociados a este tipo de obras -como licencias, honorarios, residuos, seguridad y salud, etc.-. Si bien la construcción original data de 2009 y, por tanto, también los escenarios de obra nueva, se han homogeneizado los precios al año en curso 2019, exclusivamente para su comparaci.

Tabla 10: Presupuesto de los Escenarios del Caso de Estudio.

Concepto	%	E11	E12-E11	E21-E11	E22-E11	E31-E11	E32-E11	E41-E11	E42-E11
PEM (ejecución material)	-	691,38	38,65	175,57	214,22	236,28	274,93	88,54	127,19
GR (gestión de residuos)	0,5	3,46	0,19	0,88	1,07	1,18	1,37	0,44	0,64
SS (seguridad y salud)	2	13,83	0,77	3,51	4,28	4,73	5,50	1,77	2,54
GG (gastos generales)	13	89,88	5,02	22,82	27,85	30,72	35,74	11,51	16,53
BI (beneficio industrial)	6	41,48	2,32	10,53	12,85	14,18	16,50	5,31	7,63
PEC (ejecución contrata)	-	840,03	46,96	213,32	260,28	287,08	334,04	107,58	154,54
H (honorarios técnicos)	5	34,57	1,93	8,78	10,71	11,81	13,75	4,43	6,36
Impuestos (IVA)	21	183,67	10,27	46,64	56,91	62,77	73,04	23,52	33,79
Licencias (ICIO + Tasas)	5	34,57	1,93	8,78	10,71	11,81	13,75	4,43	6,36
Unitario	€/m ²	1.092,83	61,09	277,51	338,61	373,48	434,57	139,95	201,04
Total (115 m ²)	€	125.675,43	7.025,59	31.914,19	38.939,79	42.949,74	49.975,33	16.094,34	23.119,93

Nota: Precios referidos al Banco de Precios del programa CYPE Arquímedes 2018.m, homogeneizados a 2019

5.4 Recuperación de la inversión

En todos los escenarios alternativos del Caso de Estudio se desea lograr el retorno de la inversión antes de cumplir la vida útil -mínima- de la vivienda. De acuerdo a la norma básica vigente en el momento de la construcción de la vivienda Caso de Estudio EHE-98, y siguiendo las recomendaciones del Eurocódigo ENV 1991-1, un edificio ordinario, como es aquel destinado a un uso de vivienda, tiene una vida útil de 50 años. En este sentido, la Instrucción de Hormigón Estructural que la sucede, EHE-08, establece un valor de vida útil que depende de la clase de exposición, tipo de cemento, resistencia característica y espesor de recubrimiento. No obstante, en función del buen uso y mantenimiento de la edificación, como contempla el estándar internacional ISO 15686-2, esta vida útil puede prolongarse a los 75-100 años (ISO, 2012).

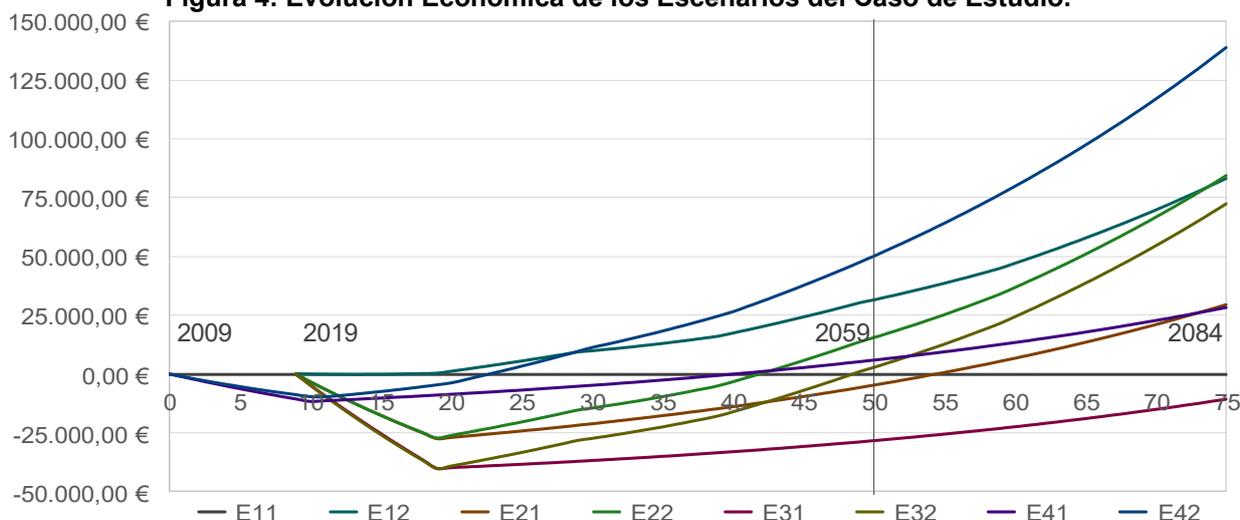
El retorno de la inversión depende de la reducción del consumo -gracias a la mejora de la envolvente- y disminución de la energía suministrada -gracias a la instalación ST y PV-. A partir del desglose de la factura eléctrica y de la de gas natural, se determina el precio de dichos suministros, considerando conceptos variables e IVA, como muestra la Tabla 11.

Tabla 11: Desglose del Precio Unitario de la Factura Eléctrica y de Gas Natural.

Concepto	Electricidad	Gas Natural
Importe Energía Consumida	0,136302 €/kWh	0,067665 €/kWh
Impuesto especial	5,11269632%	0,00234 €/kWh
IVA	21%	21%
Precio total	0,171894127 €/kWh	0,08470605 €/kWh

Asimismo, de acuerdo con el plan de energías renovables del IDAE, a través del Ministerio de Fomento, se establece en un 4,5% el incremento anual del precio de la energía. Además, se toma como tasa de coste de oportunidad el coste de las obligaciones del Estado a 30 años publicado por el Bando de España. A 11 de abril de 2019, éste asciende a 2,17%. Para acometer las inversiones necesarias, se establece un interés nominal del 2,2%, con comisión de apertura del 1% y T.A.E. del 2,394%, de acuerdo a la línea que el Instituto de Crédito Oficial tiene en colaboración con el IDAE, para particulares y comunidades de propietarios por rehabilitación energética. La Figura 4 muestra la evolución de los 8 escenarios, con las restricciones antes consideradas, para 50 y 75 años de vida útil total.

Figura 4: Evolución Económica de los Escenarios del Caso de Estudio.



Para finalizar, en la Tabla 12 se resumen los resultados obtenidos en los principales indicadores económicos, para los 7 escenarios de mejora del estado base.

Tabla 12: Recuperación de la Inversión de los Escenarios del Caso de Estudio

Indicador	E12	E21	E22	E31	E32	E41	E42
VAN 50 años (€)	31.512,19	-4.716,33	15.471,57	-28.405,12	2.928,19	5.872,68	50.122,56
TIR 50 Años	38,22%	1,33%	4,28%	-2,88%	2,49%	3,70%	9,49%
Payback	9	46	33	77	40	41	23
Años de Vida	18	55	42	86	49	41	23
Año	2027	2064	2051	2095	2058	2050	2032

TIR < Coste de oportunidad
 TIR ~ Coste de oportunidad
 TIR > Coste de oportunidad

6. Conclusiones

Con respecto al escenario base, como muestra la Tabla 13, la factura conjunta se reduce en casi un 40% para los escenarios de rehabilitación y de obra nueva, pero sin instalación ST ni PV. Por el contrario, si se acometen ambas actuaciones, la reducción supera el 80% de la factura. En caso de realizar únicamente la instalación ST y PV, la reducción alcanza el 55%.

Tabla 13: Reducción de la Facturación Conjunta (Electricidad y Gas Natural)

	E12	E21	E22	E31	E32	E41	E42
Reducción (%)	55,84	38,04	80,88	38,43	81,37	39,24	81,66

Una vez entran en juego conjuntamente las mejoras de la envolvente térmica (en 2019 para los casos de rehabilitación y 2009 en el escenario base y obra nueva alternativa) y la instalación ST-PV (en 2019), la inversión se recupera en las siguientes circunstancias:

- El escenario E12 recupera la inversión en 2027, a los 18 años de su construcción.
- El escenario E22 recupera la inversión en 2051, a los 42 años de su construcción.
-cumpliendo el vigente CTE DB-HE de 2017-
- El escenario E32 recupera la inversión en 2058, a los 49 años de su construcción.
-cumpliendo el siguiente CTE DB-HE de 2018, actualmente en tramitación-
- El escenario E42 recupera la inversión en 2032, a los 23 años de su construcción.
-cumpliendo el vigente y siguiente CTE DB-HE-

En resumen, el parque de viviendas unifamiliares construido en España durante la década 2001-2010, incluso en climas suaves y templados como el de la provincia de Cádiz, ha de asumir durante al menos otros 30-40 años, la condena energética que les supone disponer de una deficiente envolvente térmica y no contar con la contribución de energías renovables. Los estados de rehabilitación estudiados se encuentran ya casi en el punto de no retorno, especialmente a partir de la entrada en vigor del nuevo CTE DBHE de 2018. De haberse prestado una mayor sensibilidad a la optimización de la eficiencia energética, más allá de los mínimos establecidos por una norma que contaba con más de 25 años de antigüedad, la situación hubiera mejorado notoriamente, como muestran los escenarios E4.

REFERENCIAS

- Assiego, R. (2015). *Eficiencia energética en edificios desde la perspectiva de ciclo de vida. Casos de estudio*. Tesis doctoral: Universidad de Málaga, Málaga.
- Benbasat, I., Goldstein, D. K., y Mead, M. (1987). The case research strategy in studies of information systems. *MIS Quaterly*, 11(3), 369–386.
- Bonache, J. (1999). El Estudio de casos como estrategia de construcción teórica. *Cuadernos de Economía y Dirección de La Empresa*, 3, 123–140.
- Catalán, B., Saurí, D., y Serra, P. (2008). Urban sprawl in the Mediterranean? *Landscape and Urban Planning*, 85(3–4), 174–184. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2007.11.004.

- CYPE Ingenieros. (2018). *Arquímedes*, versión 2018.m. Alicante.
- Duarte, R., Sánchez, J., y Sarasa, C. (2018). Consumer-side actions in a low-carbon economy: A dynamic CGE analysis for Spain. *Energy Policy*, 118, 199–210. DOI: 10.1016/j.enpol.2018.03.065.
- Eisenhardt, K. (1989). Building theories from case research. *The Academy of Management Review*, 14(4), 532–550.
- España. (1979). RD 2429/1979 por el que se aprueba la Norma Básica de Edificación sobre Condiciones Térmicas en los Edificios CT-79. *Boletín Oficial del Estado*, 253, 24524–24550.
- España. (1999). RD 2661/1998 por el que se aprueba la Norma Básica de Edificación para la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-98. *Boletín Oficial del Estado*, 11, 1525–1526.
- España. (2006). RD 314/2006 por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. *Boletín Oficial del Estado*, 74, 11816–11831.
- España. (2013a). RD 235/2013 por el que se aprueba el Procedimiento Básico para la Certificación Energética de los Edificios. *Boletín Oficial del Estado*, 89, 27548–27562.
- España. (2013b). RD 238/2013 por el que se modifica el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. *Boletín Oficial del Estado*, 89, 27563–27593.
- España. (2014). *Factores de emisión de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España*. Madrid: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y Ministerio de Fomento.
- España. (2017a). *Documento Básico de Ahorro Energético del Código Técnico de la Edificación*. Madrid: Ministerio de Fomento.
- España. (2017b). *Herramienta Unificada LIDER CALENER (HULC)*. Madrid: Ministerio de Fomento.
- España. (2018). *Borrador del Documento Básico de Ahorro Energético del Código Técnico de la Edificación*. Madrid: Ministerio de Fomento.
- España. (2019). *Estimación del parque de viviendas*. Madrid: Ministerio de Fomento.
- Faiella, I., & Mistretta, A. (2018). *Energy costs and competitiveness in Europe. Preliminary draft*. Rome.
- Gil, F., Bayona, J., y Pujadas, I. (2013). From boom to crash: Spanish urban areas in a decade of change (2001–2011). *European Urban and Regional Studies*, 23(2), 198–216. DOI: 10.1177/0969776413498762.
- Jiménez, V., Hidalgo, R., Campesino, A.-J., y Alvarado, V. (2018). Normalización del modelo neoliberal de expansión residencial más allá del límite urbano en Chile y España. *EURE*, 44(132), 27–46. DOI: 10.4067/s0250-71612018000200027.
- Merini, I., Molina, A., García, M.S., y Ahachad, M. (2019). *Energy Efficiency Regulation and Requirements: Comparison between Morocco and Spain*. Cham: Springer. DOI: 10.1007/978-3-030-12065-8_19.
- Organización Internacional de Estandarización. (2012). *ISO 15686-2 Buildings and constructed assets. Service life planning. Part 2: Service life prediction procedures*. Ginebra: ISO.
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2003). Directiva 2002/91/CE relativa a la Eficiencia Energética de los Edificios. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 2002(1), 65–71.
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2010). Directiva 2010/31/UE relativa a la Eficiencia Energética de los Edificios. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 2010(153), 13–35.
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2012). Directiva 2012/27/UE relativa a la Eficiencia Energética. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 2010(315), 1–56.
- Pozueta, J. (2015). Rasgos urbanísticos del crecimiento residencial asociado a la burbuja inmobiliaria, 1995-2006. *Cuadernos de Investigación Urbanística*, (100), 87–94. DOI: 10.20868/ciur.2015.100.3170.
- Tirado, S., López, J. L., Martín, P., y Mediavilla, L. (2012). *Pobreza energética en España. Potencial de generación de empleo derivado de la rehabilitación energética de viviendas*. Madrid.
- Vargas, J. G., Arandia, O. E., & Cordova, A. C. (2016). A review of research methods in strategic management; what have been done, and what is still missing. *Journal of Knowledge Management, Economics and Information Technology*, 6(2), 1–42.
- Yin, R. K. (1984). *Case study research: Design and methods* (1ª ed.). Thousand Oaks: Sage.