



# Towards sustainable housing: ABS industrialized passive buildings

## Hacia la vivienda sostenible: los edificios industrializados pasivos ABS

**PEDRO GARCÍA SANMIGUEL**

MSc Energy Efficiency, Saint-Gobain Habitat, Address: Doctor Santero, 28039, Madrid (Spain). [pedrogarciasanmiguel@gmail.com](mailto:pedrogarciasanmiguel@gmail.com)

**JULIÁN GARCÍA MUÑOZ**

Universidad Politécnica de Madrid, Address: Av Juan de Herrera, 6. 28010, Madrid (Spain). [julian.garciam@upm.es](mailto:julian.garciam@upm.es)

- ◊ Nowadays building sector is responsible for 35% of the total amount of GHG emissions to the atmosphere.
- ◊ Current energy efficiency is not enough to fight against the growth of demand derivative of world's population growth.
- ◊ The American Building System combines the prefabrication of houses with high efficiency materials what allows to reach low energetic demands.

Promoting innovation in the construction sector is one of the cornerstones of sustainability, since it is one of the main responsible for GHG emissions. This paper provides a proposal for sustainable housing: the industrialized passive home of American Building System Company (ABS) and its suitability to be incorporated into the construction system. Following the comparative analysis of the energy demands of this model versus an equivalent house which follows the regulations of the CTE. These data will be simulated by the SG SAVE software that perform the energy simulation of the both systems, based on the transmittance values of enclosures and glass and the final tightness of the homes. From these results about the savings in energy consumption, an economic analysis has been carried out and an assessment of the amortization period of the proposed house facing the other. In addition, through the calculation coefficients of equivalent CO<sub>2</sub> emissions from the Spanish Ministry of Industry, the reduction of greenhouse gas emissions associated with energy consumption during the use stage has been obtained. Finally, for a standardize comfort conditions, the modelling and the assessment allow us to conclude that the deployment of ABS house in comparison with the conventional Spanish system supposes a reduction of 60% in energy demand, a 90% in CO<sub>2</sub> emissions, and an amortization period of 12 years. With all these evidences we should start to think why this system has not been already integrated in the Spanish construction sector.

*Sustainability; Passivhaus; LCA; Global warming; climate change; Energy demand; Energy efficiency; ABS*

- ◊ El sector de la edificación es responsable del 35% de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- ◊ La eficiencia energética aplicada en el sector de la construcción no basta para combatir el incremento de demanda derivado del crecimiento de población.
- ◊ El sistema de construcción American Building System combina la prefabricación de la vivienda con el uso de materiales de alta eficiencia, alcanzando bajas demandas energéticas.

Fomentar la innovación en el sector de la construcción es una de las piedras angulares de la sostenibilidad, pues la construcción es uno de los sectores responsables de las emisiones de GEI. Este artículo busca ofrecer una propuesta para la construcción sostenible: la vivienda pasiva industrializada de la empresa American Building System (ABS) y su idoneidad para ser incorporada como sistema constructivo tras el análisis comparativo de sus demandas energéticas frente a los de una vivienda equivalente que sigue la normativa del Código Técnico de la Edificación. Estos datos han sido obtenidos a partir del modelado energético de la vivienda a través del software SG SAVE, en función de los valores de transmitancia de cerramientos y vidrios y la estanqueidad final de la vivienda. A partir de estos resultados se ha realizado un análisis económico y se ha calculado el periodo de amortización de la vivienda propuesta frente a la del sistema convencional. Por otro lado, mediante los coeficientes de cálculo de emisiones del Ministerio de Industria Español, ha sido posible estimar la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de energía durante la etapa de uso como consecuencia de la reducción de demanda energética entre ambas viviendas. Finalmente, para unas condiciones de confort normalizadas, la modelización energética y el análisis de resultados nos permiten concluir que la vivienda ABS en comparación con la vivienda del sistema convencional español nos permite reducir la demanda energética en hasta un 60%, las emisiones de CO<sub>2</sub> en hasta un 90%, con un periodo de amortización de 12 años. Con todas estas evidencias de mejora se plantea una reflexión final que es la de por qué este tipo de sistemas constructivos no están todavía integrados en el modelo constructivo español.

*Sostenibilidad; Passivhaus; ACV, Calentamiento global, Cambio climático, Demanda energética, Eficiencia energética; ABS*

### Abreviaturas:

ABS: American Building System

CTE : Código Técnico de la Edificación

GEI: Gases de Efecto Invernadero

DAP: Declaración Ambiental de Producto

ACV: Análisis de Ciclo de Vida

kWh: Kilovatio hora

UE: Unión Europea

COP 21: Conference des Parties de Paris.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 CONTEXTO GLOBAL

A día de hoy, uno de los problemas fundamentales a los que se enfrenta el ser humano es el crecimiento de población en el mundo y, en consecuencia, a una serie de efectos que, también a nivel mundial, suponen un aumento en cuanto a demanda de recursos, energía, alimentos o materias primas [1].

Si hablamos en particular del sector de la construcción, este aumento de la población se traduce en un crecimiento desmedido de la superficie total edificada y en un pico récord de demanda energética, requerida para su abastecimiento [2].

En consecuencia, tanto por rehabilitar o construir nuevos edificios, como por su uso, las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al sector se incrementan sin control alcanzando máximos históricos. El indicador clave en el que se apoya este récord de emisiones es el aumento de la superficie edificada, siendo la estimación de su crecimiento de 230.000 millones de metros cuadrados en los próximos 40 años [3].

Este crecimiento conlleva numerosas y severas consecuencias, pues las mejoras que se han desarrollado en materia de eficiencia energética no han sido suficientes para evitar el aumento de emisiones asociadas al uso de los edificios, ya que crece actualmente a una tasa anual del 1% superior a la cantidad de emisiones que es posible reducir aplicando medidas de eficiencia energética o fuentes de energía renovables. Por este motivo se le atribuyen a este sector más de 4 millones de muertes al año relacionadas con la contaminación del aire en todo el mundo [4].

Ante este peligro inminente existen soluciones técnicas completamente viables, las cuales es menester acompañar de políticas globales y colaboraciones público-privadas que permitan implementarlas de forma gradual y rápida en todo tipo de países [5], pero que lo hagan aún más rápidamente en aquellos que están desarrollándose actualmente dado su potencial de contaminación derivado de la necesidad de desarrollo [6].

### 1.2 RESPUESTA LEGISLATIVA Y NORMATIVA

Son muy numerosos los ejemplos realizados hasta la fecha de conferencias, cumbres y convenciones internacionales en las que se tratan temas relacionados con el cambio climático provocado por la acción humana en el planeta para finalmente tratar de buscar medidas que lo ralenticen e incluso lo reviertan. De entre todas ellas, aquellas cuya influencia ha marcado nuestra sociedad han sido:

- ♦ La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (1992).
- ♦ La Cumbre del Clima de Kioto (1996).
- ♦ La Cumbre del Clima de París (2015).

A la par que estas se han ido desarrollando varias normativas importantes han sido redactadas y aprobadas con el objetivo de llevar a efecto los objetivos medioambientales resultado de dichas cumbres.

Entre ese gran número que cada día crece, la directiva más famosa es la Directiva 2010/21/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética, pues en ella se fomenta esta eficiencia de los edificios de la UE teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores y las particularidades de cada localidad, así como exigencias ambientales interiores y la rentabilidad calculada como el coste frente a la eficiencia del edificio. Esta norma es la responsable de proponer medidas que permitan conseguir el objetivo 20/20/20, partiendo de la premisa de que el sector de la edificación es responsable del 40% del total de las emisiones de GEI de la UE [7].

A su vez, y de forma paralela a estas normativas y cumbres, diferentes grupos de expertos alrededor del mundo realizan estudios que, con una base científica a partir de datos numéricos y mediciones, demuestran los efectos del cambio climático, cómo afecta a este cambio cada uno de los principales sectores que más impacto ejercen y también permiten comprobar si todas las medidas que se plantean en estas normativas y cumbres tienen algún efecto real o no.

Un dato revelador lo arroja el informe “Global Status Report 2017”, desarrollado por la Agencia Internacional de la Energía (IEA) para la Alianza Global de Edificios y Construcción (GABC), al demostrar que la intensidad energética por metro cuadrado necesita reducirse al menos un 30% para el año 2030 si se desean alcanzar las metas definidas en la COP21 de París, tal y como se muestra en la gráfica 1.

De esta forma, a pesar de mejorar la intensidad energética por metro cuadrado de los edificios con las medidas de eficiencia energética actuales (figura 1), no será posible disminuir las emisiones asociadas a estos, pues las mejoras se ven compensadas con la creación de más y más metros cuadrados de edificaciones derivados del crecimiento de la población mundial y su demanda de vivienda.

Frente a este panorama es necesario explotar con mayor intensidad el potencial de ahorro del que disponen los edificios a través de políticas efectivas en materia medioambiental, inversiones en edificios sostenibles y mediante el cambio de mentalidad de la población para hacerla partícipe del proceso de creación de un parque de viviendas sostenible.

En lo relativo a la introducción de la sostenibilidad en el sector de la construcción, aparece un nuevo concepto prioritario a implantar durante la próxima década, con la idea de que consiga un aumento de la eficiencia energética y sostenibilidad de los edificios. Este concepto es el de Edificio de Consumo Casi Nulo (near Zero Emission Building por sus siglas en inglés (nZEB)) [8].

Este deberá ser introducido en todos los países del mundo, en los desarrollados para hacer frente a la nueva edificación, pero enfocado todavía más en la renovación de sus parques

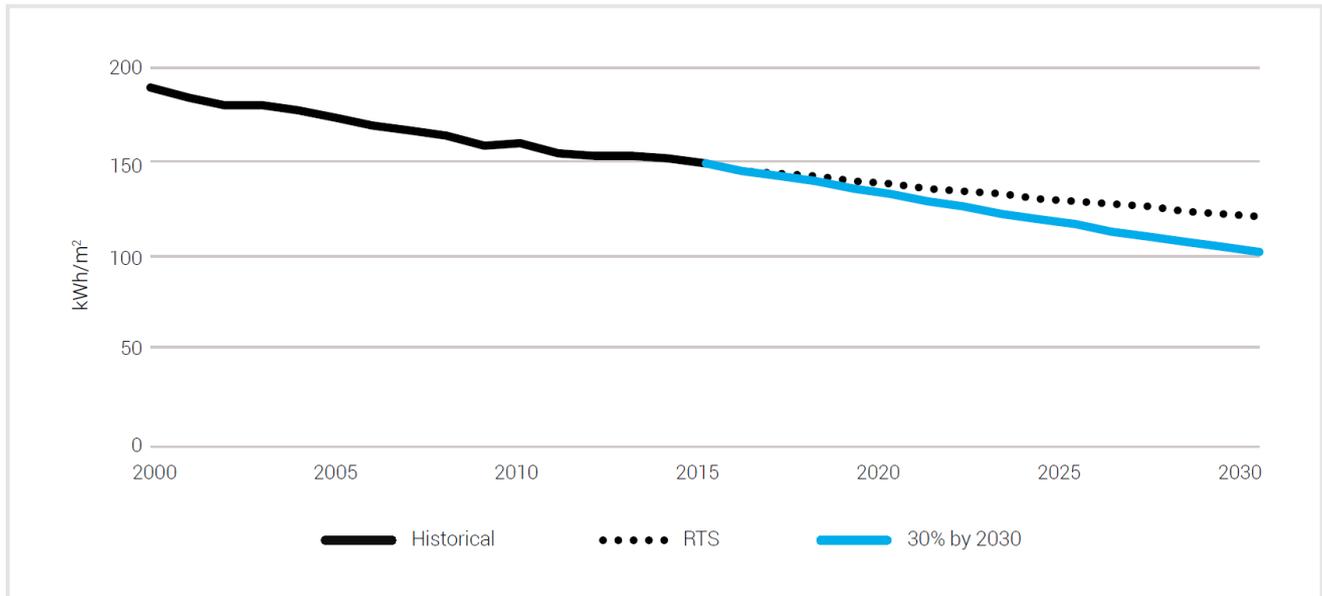


Figura 1: Uso de energía final por metro cuadrado edificado. (EJ = exajoules; kWh/m<sup>2</sup> = kilowatt-hours per square metre; RTS = Reference Technology Scenario). Fuente: GLOBAL STATUS REPORT. 2017. UN Environment. (IEA (2017), Energy Technology Perspectives 2017, IEA/OECD, Paris www.iea.org/etp/).

de edificios; y en aquellos países en vías de desarrollo. En estos últimos la implantación deberá ser urgente, pues dichos países van a experimentar en las próximas décadas un crecimiento demográfico considerable derivado de su desarrollo económico emergente.

De no ser así se repetirá el error cometido en los países ya desarrollados, al permitir que los países todavía en proceso, recurran a tecnología anticuada para su desarrollo industrial y económico que les llevaría a generar edificios insostenibles, aumentando el efecto de este sector con respecto al calentamiento global.

### 1.3 CONTEXTO ESPAÑOL

En el caso de España, el sector de la construcción ha sido desde sus inicios poco progresista y aún menos sostenible. El lobby del ladrillo ha generado grandes riquezas y con ellas ha contribuido a la grave crisis que sufre el país desde hace ya casi diez años [9]. Según el censo del Instituto Nacional de Estadística del año 2011, en España existen un total de 25.208.622 viviendas.

La construcción del parque de viviendas español con respecto a las diferentes normativas nacionales sobre eficiencia energética en edificios marca tres grupos bien diferenciados (figura 2):

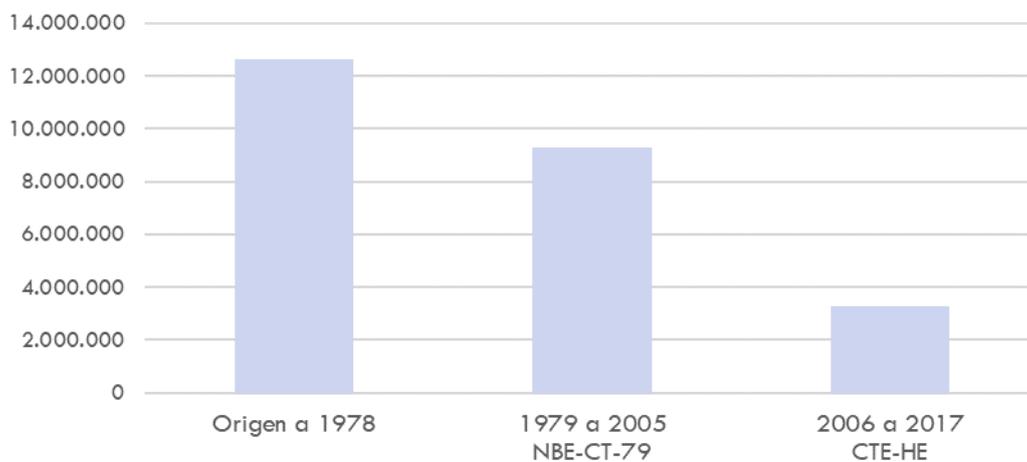


Figura 2: nº viviendas edificadas en España hasta 2011. Elaboración propia. Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

Como puede apreciarse en la anterior gráfica, solo un pequeño porcentaje de las viviendas españolas ha sido construido teniendo en consideración criterios de eficiencia energética y confort, pues estos fueron incluidos a partir de

2006 en el Código Técnico de la Edificación.

A pesar de esto, es necesario analizar y comparar el comportamiento energético que poseen las viviendas de

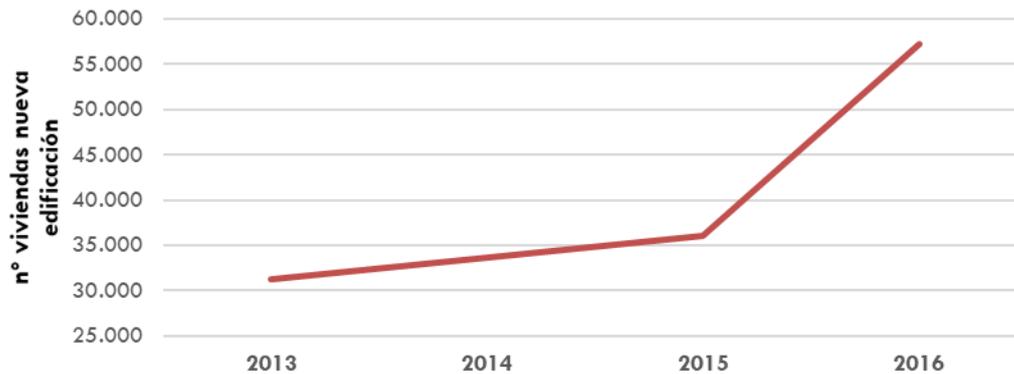


Figura 3: nº viviendas construidas de nueva edificación en España, años 2013 a 2016. Elaboración propia. Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

nueva edificación en el país ya que desde el año 2013 la tendencia de obra nueva en el país vuelve a ser creciente tal y como se muestra en la figura 3.

En este escenario, dado que pese a las medidas de eficiencia energética dispuestas en la normativa para la nueva edificación no son suficientes para reducir el impacto ambiental del sector, es una necesidad el presentar un sistema constructivo sostenible alternativo, que beneficie tanto al medioambiente como al usuario final.

Con este fin, se establece en el presente artículo el objetivo de comparar las demandas energéticas que la vivienda pasiva de American Building System ofrece con respecto a las de una construcción equivalente que siga los estándares del Código Técnico de la Edificación, para esclarecer si es posible y viable la implantación de esta tecnología en el sistema constructivo español y qué ventajas nos ofrece frente al sistema actual.

Si tenemos en cuenta los efectos ambientales de este sector a escala mundial y las necesidades constructivas actuales, queda claro que ya no es posible ejecutar un sistema sin valorar su impacto medioambiental asociado a todo su ciclo de vida y sin que esto suponga un elevado coste económico o ponga en riesgo las condiciones de confort de los usuarios [10].

Para la realización de edificios sostenibles, junto a las normativas internacionales y nacionales hay que considerar un tercer factor que promueve la edificación sostenible y que son los sistemas de certificación medioambiental [11]. Los más desarrollados son:

- ♦ BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology).
- ♦ LEED (Leadership in Energy and Environmental Design).

Este tipo de sistemas buscan el desarrollo de edificios sostenibles, sin embargo, no sugieren soluciones específicas para lograr este objetivo, motivo por el cual han aparecido los estándares de construcción.

Los estándares de construcción promueven acciones específicas con el objetivo de reducir el impacto ambiental del edificio mediante la limitación de su demanda energética, sus emisiones de la fase de uso, o los consumos de energía no

renovable. De entre todos los estándares de construcción destaca el Estándar Passivhaus [12] debido a su antigüedad e implantación por todo el mundo, y que se basa en el control y desarrollo de los siguientes aspectos:

- ♦ Aislamiento térmico.
- ♦ Inercia térmica.
- ♦ Ausencia de puentes térmicos.
- ♦ Ventanas de alta eficiencia.
- ♦ Hermeticidad.
- ♦ Ventilación controlada con recuperador de calor.

#### 1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

En conclusión, conocidos los antecedentes y efectos del sector de la construcción a nivel mundial y local, y los problemas que suponen las emisiones de Gases de Efecto Invernadero asociadas a los edificios, y dado que tendemos a construir y rehabilitar cada año mayor número de viviendas, y que su impacto supone entre el 30 y el 40% de las emisiones de GEI en el mundo [13], este artículo plantea la instauración de un sistema constructivo sostenible a través de la vivienda de ABS, que reduzca el impacto en todo el ciclo de vida del edificio sin poner en riesgo las condiciones de confort del usuario en su vivienda ni reclamando un precio desproporcionado al usuario, como sustituto al sistema convencional constructivo español.

Para ello se modelizarán la vivienda prototipo ABS mediante el software SG SAVE gracias al cual, asignando en cada caso los valores de transmitancia de cerramientos y vidrios y la estanqueidad final de la vivienda, podremos comparar los valores de demanda obtenidos con los del edificio de referencia equivalente de la normativa española (CTE) [14].

De esta manera, dado que solo variarán los materiales que componen los cerramientos y la estanqueidad final, podremos obtener un contraste en las demandas energéticas que demuestre la verdadera eficacia de los materiales que utiliza la vivienda de American Building System frente a lo que a día de hoy es considerado como el valor de referencia para nueva construcción.

#### 1.4 OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo fundamental del presente artículo es presentar la comparación de los resultados del cálculo de balance energético de la vivienda unifamiliar pasiva de American Building System respecto a los de una vivienda con idéntico diseño geométrico y entorno, pero ejecutada conforme a los requisitos de CTE 2013.

El fin último es el de demostrar la calidad de los materiales y sistemas constructivos aplicados en el prototipo de vivienda ABS al compararlos con los utilizados en la actualidad en España, junto con todos los beneficios que un mejor comportamiento energético conlleva.

El alcance del artículo se limita a la modelización energética de dos viviendas con diferentes sistemas constructivos (ABS y CTE) y similares características geométricas y de entorno, durante la etapa de uso del ciclo de vida (UNE 14040:2006) variando su localización por diferentes zonas climáticas del territorio español definidas por el Código Técnico de la Edificación para demostrar la efectividad del sistema ABS independientemente de la severidad del lugar donde se sitúe el proyecto.

Además, se establecen como objetivos secundarios:

- ♦ La divulgación de un sistema constructivo sostenible que reduce su impacto medioambiental en su ciclo de vida con respecto a la vivienda ejecutada en España.
- ♦ La demostración de que la vivienda ABS con un diseño genérico permite, independientemente de la zona climática en la que se encuentre, cumplir los estándares exigidos en España en lo referido a demanda energética y, solo con pequeñas modificaciones en los vidrios, llegaría a alcanzar el estándar Passivhaus (también en lo referido a demanda energética).

## 2. MATERIALES Y/O MÉTODOS

### 2.1 METODOLOGÍA

Una vez definido el objetivo, la metodología seguida para su obtención ha consistido en modelar la vivienda ABS en el software de cálculo SG SAVE. Para ello la propia empresa ha proporcionado todos aquellos datos relativos a la composición de los cerramientos de la vivienda, a ensayos realizados in situ que han permitido calibrar el modelo introducido, al tipo de instalaciones instaladas de manera que se incremente la eficiencia energética del edificio, y al precio medio de adquisición de la vivienda, necesario para el análisis económico posterior.

Obtenidos los resultados de la simulación se ha procedido a comparar la demanda obtenida en cada una de las zonas climáticas definidas por la normativa española [15], con la vivienda ABS frente a la equivalente con los estándares del CTE y, a partir de este resultado, sacar un valor medio para cada caso.

Con este valor medio se han planteado dos supuestos de

estudio en lo relativo a equipos e instalaciones. En el primero de ellos se ha estimado el mismo equipo para ambas viviendas, siguiendo datos de equipos de climatización convencionales. Para el segundo se han mantenido estos valores convencionales para la vivienda del CTE, mientras que para la de ABS se han introducido valores de rendimiento de los equipos acordes a los sistemas de climatización aplicados en la realidad, sistemas de aerogeotermia conectados a un sistema de ventilación mecánica con un intercambiador de calor.

En ambos casos se estudia el ahorro económico a partir del ahorro energético resultado de la simulación y los precios medios de la energía según el mix energético español. A su vez, dicho ahorro se traduce en emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de cada vivienda y caso, pudiendo determinar la comparación de ambas viviendas según este indicador. Por último, se estima con los ahorros económicos obtenidos de la vivienda ABS frente a la CTE el periodo de amortización de la diferencia económica entre ambas viviendas a partir del precio proporcionado por ABS y el de la vivienda convencional obtenido en base a diferentes estudios de mercado de diversas inmobiliarias.

Con este triple enfoque (ahorro energético, económico y emisiones de CO<sub>2</sub>) se demuestra el objetivo del presente artículo, al demostrar que todos estos indicadores obtienen mejores valores para la vivienda ABS, tanto para el caso de que los equipos de climatización sean idénticos en ambas viviendas como en el de aplicar los equipos reales.

### 2.2 EL SOFTWARE: SG SAVE

En lo referente al sector de la edificación, uno de los mayores consumidores de energía, la simulación energética de los sistemas y edificios se ha convertido en una necesidad básica a la hora de proyectar [16]. SG SAVE permite verificar los requisitos del Código Técnico de la Edificación al diseñar en SketchUp, además de realizar la calificación energética del edificio a través de OpenStudio con EnergyPlus.

EnergyPlus es el programa de simulación térmica de los edificios más avanzado que existe. Ha sido desarrollado por DOE (Departamento de Energía de Estados Unidos) y con él se pueden hacer estudios de la demanda y el consumo energético de los edificios [17].

El programa SG SAVE ha sido aprobado por el Ministerio de Transición Ecológica como herramienta válida también para la certificación energética de edificios en España. El software, al igual que OpenStudio y SketchUp, es de libre acceso y puede encontrarse junto con el manual en la web de Saint-Gobain España.

### 2.3 DATOS PARA LA SIMULACIÓN

Para simular los edificios se han tenido en cuenta los siguientes parámetros:

- ♦ Transmitancia de los cerramientos.
- ♦ Transmitancia de los vidrios.

- ◆ Permeabilidad de los huecos.
- ◆ Tasa de Ventilación.

Para la vivienda ABS los valores para estos parámetros han sido proporcionados por la propia empresa, en base al diseño realizado para una vivienda prototipo situada en Azuqueca de Henares, compuestos como se muestra en la Figura 4 (a) y (b).

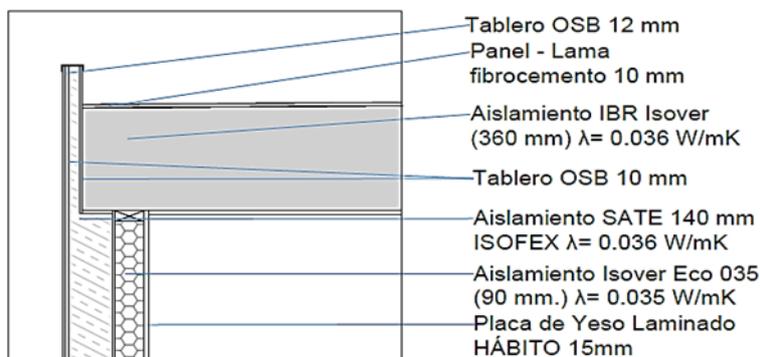


Figura 4 (a): Encuentro cubierta – fachada vivienda ABS.

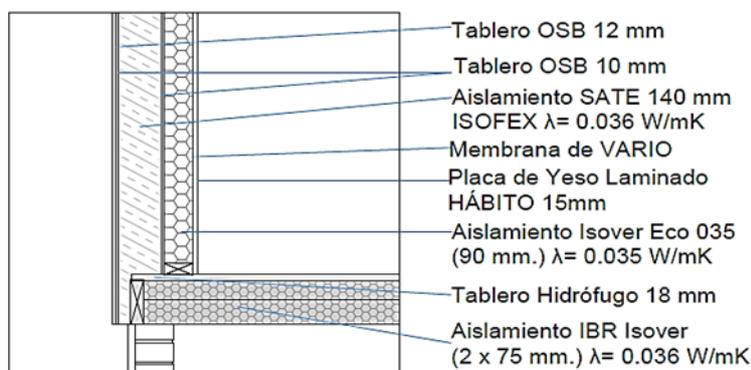


Figura 4 (b): Encuentro fachada – solera vivienda ABS.

relativas a transmitancia y control solar del hueco, las pérdidas por transmisión de calor e infiltraciones.

A este conjunto de materiales de altas prestaciones, se ha añadido un sistema de ventilación mecánica, estudiando los caudales de renovación para cada estación del año. Como valor más restrictivo, hemos tomado para el cálculo el régimen de verano que, gracias a la buena hermeticidad alcanzada por la vivienda, no supera las 0,32 renovaciones a la hora [19]. Este último valor va a ser determinante en el comportamiento energético global de la vivienda pues elimina todas las infiltraciones indeseadas y por ende las pérdidas energéticas, de esta manera tendremos que climatizar solo aquel volumen de aire que ocupa la vivienda [20].

En lo relativo a la vivienda equivalente que sigue los estándares del CTE, los valores que utiliza el software de modelización son los definidos por dicha normativa en función de la zona climática en la que se sitúe el proyecto.

No ha sido necesario simular esta vivienda, pues el programa,

Los cerramientos de la envolvente han alcanzado valores satisfactoriamente bajos de transmitancia térmica gracias a las soluciones de aislamiento de la marca Saint-Gobain Isover [18].

Por otra parte, las ventanas instaladas son un modelo certificado directamente por el Passivhaus Institute, con lo que se satisfacen las condiciones de los huecos de forma directa

en función del diseño geométrico, orientación y otros parámetros introducidos, genera una vivienda similar en cuanto a dimensiones y zona climática, pero sustituye los valores de transmitancia de los cerramientos y vidrios, por los establecidos por el CTE para dicha zona climática [21].

Es de esta manera como obtiene la calificación energética del edificio.

A modo de resumen, se dispone en la Tabla 1 la comparación entre los diferentes valores utilizados para la comparación del comportamiento energético de cada una de las viviendas.

## 2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez obtenidos los informes de la simulación respectiva a la vivienda ABS y su equivalente del CTE, los resultados finales de demanda de calefacción y refrigeración para cada caso y zona climática estudiada se muestran en la Tabla 2:

A la luz de estos resultados, se demuestra la eficacia del

Propiedades	Vivienda CTE					Vivienda ABS
	A4	B4	C4	D3	E1	
Transmitancia muros (W/m <sup>2</sup> K)	0,94	0,82	0,73	0,66	0,57	0,146
Transmitancia cubierta (W/m <sup>2</sup> K)	0,5	0,45	0,41	0,38	0,35	0,142
Transmitancia suelo (W/m <sup>2</sup> K)	0,53	0,52	0,5	0,49	0,48	0,314
Transmitancia vidrios (W/m <sup>2</sup> K)	5,7	4,9	3,9	3,5	3,1	0,6
Permeabilidad huecos (m <sup>3</sup> /h·m <sup>2</sup> )	50	50	27	27	27	3
Tasa de ventilación (Renov/h)	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,32

Tabla 1: Resumen de propiedades de modelización. Elaboración propia.

Zona climática	Vivienda CTE 2013		Vivienda ABS	
	Calefacción	Refrigeración	Calefacción	Refrigeración
A4	15	20	2,3	18
B4	15	20	4,9	17,4
C4	32,5	20	12,1	17,9
D3	52	15	20,8	13
E1	77,5	15	29,7	4,4
Promedio	38,4	18	13,96	14,14
<b>TOTAL</b>	56,41		28,10	
<b>Diferencia</b>			28,31	

Tabla 2: Resultados de demanda energética obtenidos por zona climática y vivienda. Elaboración propia.

sistema de construcción pasiva ABS, al conseguir menores demandas energéticas para la climatización que la vivienda modelizada bajo el estándar del CTE de 2013.

Más en detalle, en lo que a refrigeración se refiere, se produce una reducción de la demanda energética de 3,86 kWh/m<sup>2</sup>año (21% menor) con respecto a los resultados del edificio de referencia del CTE. Esta gran diferencia es debida principalmente a la hermeticidad conseguida en la vivienda ABS que permite optimizar la tasa de ventilación al mínimo, eliminándose así las pérdidas de calor del interior con el exterior debidas a infiltraciones incontroladas.

En cuanto al indicador de demanda energética de calefacción, el valor alcanzado por la vivienda ABS es un 64% menor que el de la vivienda CTE. Esta reducción de demanda se debe al excelente desempeño energético que realiza la envolvente de la vivienda al estar constituida por materiales de tan baja transmitancia térmica [22], que

eliminan todo tipo de puentes térmicos en un clima con altas temperaturas en verano y muy bajas en invierno.

Además, al igual que en el caso de la demanda de refrigeración, se eliminan las pérdidas energéticas por intercambio de calor con el exterior al eliminarse las infiltraciones incontroladas [23], pudiendo así regular la tasa de ventilación mecánica al mínimo necesario.

Si extrapolamos estos resultados a una unidad monetaria mediante la suposición de un sistema de calefacción y refrigeración estándar, cuyo rendimiento sea del 80%; y sabiendo, gracias a Red Eléctrica Española, que el precio del kWh asciende a 0,15 € (sin IVA según datos de diferentes comercializadoras) con un incremento anual del 6%, según el histórico de crecimiento español de la última década, tendríamos el ahorro anual mostrado en la Tabla 3:

Con esta estimación del ahorro únicamente debido a la reducción de la demanda energética de climatización de la

	Vivienda CTE 2013		Vivienda ABS	
	Calefacción	Refrigeración	Calefacción	Refrigeración
Consumo (kWh/m <sup>2</sup> ·a) con sistema de climatización $\eta=80\%$	48,00	22,50	17,45	17,68
Gasto unitario (€/m <sup>2</sup> ·año)	7,2	3,4	2,6	2,6
Superficie vivienda (m <sup>2</sup> )	80 m <sup>2</sup>			
Gasto parcial (€)	575,9	270,1	209,4	212,1
Gasto total (€)	846,0		421,5	
Ahorro anual	424,5			

Tabla 3. Comparación de consumos y ahorro anual. Elaboración propia.

vivienda se procede a calcular, teniendo en cuenta los precios de adquisición de las viviendas ABS y CTE, el periodo de amortización de la vivienda ABS.

De esta manera, determinaremos el número de años que tendrían que pasar para, con ese ahorro, costear la diferencia de inversión inicial entre ambas viviendas.

Antes de proceder al cálculo de esta amortización se justifican los precios de adquisición de ambas viviendas, teniendo en cuenta que se van a descontar el precio de la licencia de edificación, del proyecto y de la parcela, pues serían comunes

en todos los casos.

El precio de la vivienda ABS ha sido facilitado, de forma orientativa, por la propia empresa. Para una vivienda de estas características el precio de adquisición asciende a 1.007 €/m<sup>2</sup>.

Para obtener el coste de la vivienda CTE se han contrastado diferentes fuentes relacionadas con la compra/venta de viviendas, definiendo un precio medio para el territorio español de 1.636 €/m<sup>2</sup> del que se muestra la evolución temporal en la Figura 5.

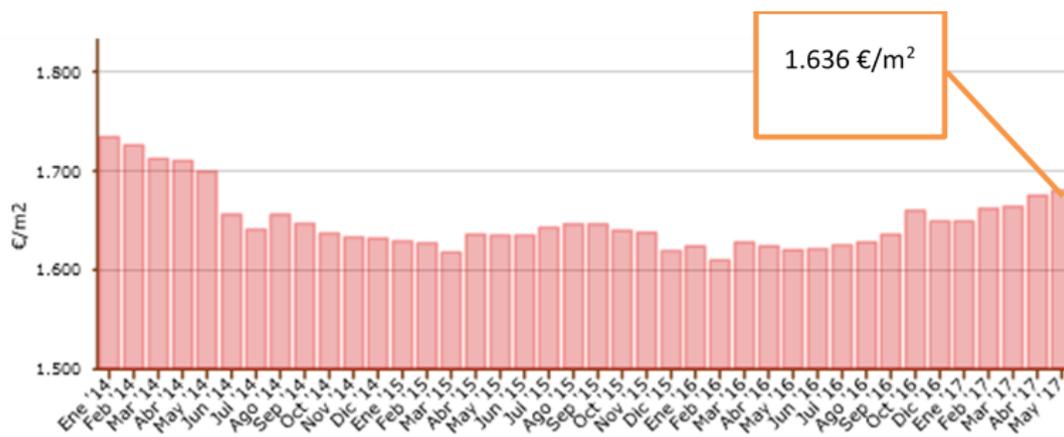


Figura 5: Precio medio suelo vivienda. (Enero de 2014 a mayo de 2017). Fuente: Fotocasa.

De este valor debemos descontar la cantidad correspondiente a la licencia de la obra, el proyecto y el coste de la parcela. Para ello sus valores han sido tomados de la estimación de precio de ABS, resultando un precio para esta vivienda de 885,25€/m<sup>2</sup>.

En conclusión, obtenemos los siguientes precios que, para una superficie de 80 m<sup>2</sup>, suponen una diferencia de 9.740,00 €, como se puede comprobar en la Tabla 4:

Con esta diferencia de precio, el periodo de amortización de la diferencia económica entre ambas viviendas en base a los ahorros energéticos conseguidos, aplicándoles una subida

anual del precio de la energía del 6%, se representa en la Tabla 5:

Pese a que se obtiene un periodo de amortización no muy elevado, es imperativo considerar para un cálculo de la amortización más realista el verdadero sistema de climatización de la vivienda ABS pues su rendimiento, al contar con una instalación de aerogeotermia y un intercambiador de calor con el sistema de ventilación, permite obtener un rendimiento estacional (COP) del 500% [24].

Este incremento del rendimiento es debido a la instalación de un intercambiador de calor conectado a una instalación de

Vivienda	Precio/m <sup>2</sup>	Precio Total
ABS	1.007,00 €	80.560,00 €
CTE	885,25 €	70.820,00 €
Diferencia	121,75 €	9.740,00 €

Tabla 4. Coste de las viviendas. Fuente: ABS y Fotocasa.

Año	Ahorro anual	Ahorro acumulado
1	424,50 €	424,50 €
2	449,97 €	874,47 €
3	476,97 €	1.351,44 €
4	505,59 €	1.857,02 €
5	535,92 €	2.392,95 €
6	568,08 €	2.961,02 €
7	602,16 €	3.563,18 €
8	638,29 €	4.201,48 €
9	676,59 €	4.878,06 €
10	717,18 €	5.595,25 €
11	760,21 €	6.355,46 €
12	805,83 €	7.161,29 €
13	854,18 €	8.015,47 €
14	905,43 €	8.920,90 €
15	959,75 €	9.880,65 €
16	1.017,34 €	10.897,99 €
...	...	...
50	7.376,75 €	123.247,59 €

Tabla 5. Periodo de amortización de la diferencia económica entre la vivienda ABS y la CTE en función del ahorro energético.

aerogeotermia con el que, al tener la ventilación a través del recuperador de calor se obtiene un porcentaje de sobrecalentamiento superior al 10%, que permite reducir el salto térmico del aire del sistema de climatización, reduciendo en consecuencia la demanda energética de climatización.

Por su parte, para la vivienda del CTE, es necesario realizar una corrección del rendimiento de sus instalaciones pues el mismo Código contiene restricciones al consumo de energía primaria no renovable.

En este caso se procede a considerar una caldera de baja condensación, difiriendo este caso en que no aprovechamos la reducción del salto térmico debida al sistema aerogeotérmico y al intercambiador de calor. El valor de rendimiento de este

tipo de instalaciones ronda el 105%.

Con estos nuevos valores de rendimiento, los consumos derivados de las demandas anteriormente calculadas se muestran en la Tabla 6:

A partir de estos resultados, estimamos los ahorros teóricos a obtener en la vida útil de la vivienda, obteniendo un nuevo periodo de amortización al alcanzar la diferencia económica entre ambas viviendas con el ahorro económico derivado de la vivienda ABS.

Finalmente, y de una forma más acorde a la realidad, el periodo de amortización anteriormente planteado ascendería a 12 años desde el momento de su adquisición, como se muestra a continuación en la Tabla 7.

Vivienda	Demanda total (kWh/m <sup>2</sup> año)	Rendimiento	Consumo (kWh/m <sup>2</sup> año)	Coste de la energía (€/kWh)	Superficie vivienda (m <sup>2</sup> )	Consumo económico (€/año)
ABS	28,1	500%	5,62	0,15	80,00	67,44 €
CTE	56,4	105%	53,71	0,15	80,00	644,57 €
<b>Ahorro anual</b>						<b>577,13 €</b>

Tabla 6. Ahorro entre las viviendas con equipos diferentes. Elaboración propia.

Año	Ahorro anual	Ahorro acumulado
1	577,13 €	577,13 €
2	611,76 €	1.188,89 €
3	648,46 €	1.837,35 €
4	687,37 €	2.524,72 €
5	728,61 €	3.253,34 €
6	772,33 €	4.025,67 €
7	818,67 €	4.844,34 €
8	867,79 €	5.712,13 €
9	919,86 €	6.631,98 €
10	975,05 €	7.607,03 €
11	1.033,55 €	8.640,58 €
12	1.095,57 €	9.736,15 €
13	1.161,30 €	10.897,45 €
...	...	...
50	10.029,08 €	167.561,56 €

Tabla 7. Amortización vivienda ABS con consumos ajustados. Elaboración propia.

Una vez conocido el consumo de energía de ambas viviendas y como último punto a analizar, se procede a estimar la generación de emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la etapa de uso de ambas viviendas en la Tabla 8.

Para ello se ha recurrido a los coeficientes de paso del Ministerio de Industria Español que, aplicándose a los consumos calculados con los rendimientos de los equipos reales, determinan la siguiente diferencia de emisiones entre ambas viviendas:

Gracias a esta última operación se determina la reducción de emisiones, que asciende a 1.373,57 kg de CO<sub>2</sub> al año, lo que demuestra otra ventaja más, tanto para nosotros como para el medioambiente, asociada al uso de la vivienda pasiva de

American Building System.

Para este último cálculo, de manera que se demuestre que no ha sido algo puramente teórico, se ha procedido a contrastar las emisiones teóricas calculadas para la vivienda ABS con los resultados obtenidos de su Declaración Ambiental de Producto, documento normalizado y verificado por una tercera parte independiente [25].

De esta manera podremos afirmar, al ser el rendimiento de los equipos de dicha vivienda un valor real proporcionado por el fabricante de los mismos y los coeficientes de paso otro dato normalizado, que la simulación energética de la vivienda ha sido realizada correctamente.

Vivienda	Demanda (kWh/año)	Rendimiento	Energía Final (kWh/año)	Energía Final Kg CO/kWh	Emisiones anuales (kg CO2/año)
ABS	2.248,00	500%	449,60	0,357	160,51
CTE	4.512,00	105%	4297,14	0,357	1.534,08
<b>Diferencia de emisiones</b>					<b>1.373,57</b>

Tabla 8. Emisiones asociadas a los consumos de las viviendas. Elaboración propia. Fuente de los datos: MINETAD.

Si nos fijamos en el indicador de “Potencial de Calentamiento Global” para la etapa de uso de la vivienda, calculados para los 50 años de vida útil de la vivienda de la Figura 6, las emisiones ascienden a 8.365 kg de CO<sub>2</sub>.

Para nuestro estudio, a partir de la demanda energética fruto de la modelización, el rendimiento de los equipos (dato) y los coeficientes de paso del Ministerio de Industria español

(dato), para 50 años de vida útil, las emisiones suman un total de 8.025,5 kg de CO<sub>2</sub>.

De esta manera podemos comprobar que estimación de las emisiones a partir de la demanda resultado de la simulación energética de la vivienda, y las instalaciones supuestas, es totalmente coherente con las emisiones generadas por la vivienda en la realidad.



Figura 6: Impactos ciclo de vida vivienda ABS. Fuente: Marcel Gómez Consultoría Ambiental.

#### 4. CONCLUSIONES

A partir de lo dispuesto en los apartados anteriores de este artículo, las principales conclusiones obtenidas son:

- I. La vivienda de American Building System reduce un 50% la demanda energética respecto a la vivienda de referencia del Código Técnico de Edificación vigente desde el año 2013.

II. El periodo de amortización para la diferencia económica entre ambas viviendas (9.740 €) asciende a 12 años, por lo que la ventaja económica de la vivienda ABS se obtiene a medio plazo.

Además, hay que tener en cuenta que, al contrario que la vivienda CTE, la ABS no requiere ningún tipo de rehabilitación una vez que se ha ejecutado gracias a su sistema constructivo.

III. La reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de la vivienda ABS respecto a la CTE es del 90%, por lo que la implantación en España de un sistema más sostenible contribuiría a reducir significativamente los daños medioambientales generados por el sector de la construcción.

IV. Al tratarse de una producción industrializada, el proceso constructivo del Sistema ABS, aunque no es objeto de este estudio su análisis, proporciona una serie de ventajas como:

- ♦ El montaje de la vivienda a partir de módulos individuales.
- ♦ La instalación directa en la ubicación final, lo que permite al usuario tener una vivienda "llave en mano" sin sufrir movimiento de tierras, andamiaje u otras molestias propias de una obra de larga duración.

En resumen, el buen comportamiento energético de la vivienda ABS gracias al uso de materiales de altas prestaciones y una ejecución minuciosa, se traduce en una mínima necesidad de climatización tanto en los meses de invierno como en los de verano, lo que aporta un doble beneficio: un ahorro económico considerable y una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Aula de Innovación PLACO-UPM su colaboración para la consecución de este trabajo.

## 6. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

### 6.1 BIBLIOGRAFÍA

- [I] A. Rezi and M. Allam, "Techniques in array processing by means of transformations," in *Control and Dynamic Systems*, Vol. 69, Multidimensional Systems, C. T. Leondes, Ed. San Diego: Academic Press, 1995, pp. 133-180.
- [II] G. Liu, K. Y. Lee, and H. F. Jordan, "TDM and TWDM de Bruijn networks and sufflenets for optical communications," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 46, pp. 695-701, June 1997.
- [III] K. E. Elliot and C. M. Greene, "A local adaptive protocol", Argonne National Laboratory, Argonne, France, Tech. Rep. 916-1010-BB, 1997
- [IV] J.-C. Wu. "Rate-distortion analysis and digital transmission of nonstationary images". Ph.D. dissertation, Rutgers, the State University of New Jersey, Piscataway, NJ, USA, 1998.
- [V] J. Jones. (1991, May 10). *Networks* (2nd ed.) [Online]. Available: <http://www.atm.com>.

### 6.2 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Zapain, "Los límites del crecimiento: informe al Club de Roma sobre el predicamento de la Humanidad", reseña. Fondo de Población de Naciones Unidas (UNFPA) 2002.
- [2] Global Vision Area, "Building a common home. Building sector. A global vision report", World Sustainable Building Barcelona, 2014.
- [3] T. Abergel, B. Dean and J. Dulac, "UN Environment and International Energy Agency (2017): Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector. Global Status Report 2017", ISBN No.: 978-92-807-3686-1, 2017.
- [4] J. Lelieveld, J. S. Evans, M. Fnais, D. Giannadaki and A. Pozzer, "The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale", doi:10.1038/nature15371, 2015.
- [5] F. Estenssoro, "El ecodesarrollo como concepto precursor del desarrollo sustentable y su influencia en América Latina", *UNIVERSUM*, Vol. 30, N° 1, Universidad de Talca, 2015.
- [6] M. Artaraz, "Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible", *Ecosistemas* 2002/2, 2002.
- [7] H. Radhi, "Evaluating the potential impact of global warming on the UAE residential buildings – A contribution to reduce the CO<sub>2</sub> emissions", *Building and Environment* 44 (2009) 2451–2462, 2009.
- [8] DIRECTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- [9] I. Murray, "Capitalismo y turismo en España. Del "milagro económico" a la "gran crisis", Universidad Autónoma del Estado de México, ISSN: 1870-9036, Publicación Semestral, N° 29, Julio/Diciembre 2015.
- [10] J. Zuo and Z. Zhao, "Green building research—current status and future agenda: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30(2014)271–281, 2014.
- [11] A. Ping, A. Darko and E. Effah, "Strategies for Promoting Green Building Technologies Adoption in the Construction Industry-An International Study", *Sustainability* 2017, 9, 969; doi:10.3390/su9060969, 2017.
- [12] Passivhaus Institute [Online]. Available: <http://www.passivehouse.com/>
- [13] A. Martiarena, "El impacto de los gases de efecto invernadero en Madrid es el doble de lo registrado" *La Vanguardia*, 2018.
- [14] Efinovatic, "SG SAVE: Verificación del CTE-HE con EnergyPlus". Available: <https://www.efinovatic.es/energyPlus/>
- [15] Código Técnico de la Edificación, Documento Básico de Ahorro Energético, 2013.
- [16] R. Suárez and J. Frago, "Estrategias pasivas de optimización energética de la vivienda social en clima mediterráneo", *Informes de la Construcción*, Vol. 68, 541, e136, ISSN -L: 0020-0883, 2016.
- [17] C. F. Reinhart and C. Cerezo, "Urban building energy modeling e A review of a nascent field", *Building and Environment* 97 (2016) 196e202, Massachusetts Institute of Technology, 2016.
- [18] Saint-Gobain Isover, "Aislamiento de Fachadas Soluciones ISOVER para Obra Nueva y Rehabilitación".
- [19] A. Vogt and L. Robledo, "American Building System, balance energético", *VAND Arquitectura*, 2016.
- [20] M. Andersen, C. Discoli, G. Viegas and I. Martini "Monitoreo energético y estrategias de retrofit para viviendas sociales en clima frío", *Revista Hábitat Sustentable* Vol. 7, N°. 2. ISSN 0719 - 0700 / Págs. 50-63, 2017.
- [21] N. Bermejo, "Manual de usuario SG SAVE", Saint-Gobain & Efinovatic, 2017.
- [22] C. Morán, A. García, D. Ferrández and K. Hosokawa "Acondicionamiento Pasivo de una Vivienda en la Sierra de Madrid", *Anales de Edificación*, Vol. 1, N° 1, E.T.S. Edificación, Universidad Politécnica de Madrid, 2015.

[23] R. Hornero, "Estudio de la ventilación natural en un edificio y su efecto en el grado de confort de los ocupantes", Universidad Politécnica de Cataluña, 2013.

[24] E. Jiménez, "Análisis Económico Energético Y Ambiental Del Uso De La Aerotermita", Universidad de la Rioja, 2017.

[25] C. Gazulla, P. Fullana i Palmer and J. Rieradevall i Pons, "Declaraciones ambientales de producto: instrumento para la mejora de productos", Universidad Politécnica de Cataluña, 2013.

---

#### **WHAT DO YOU THINK?**

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at [bm.edificacion@upm.es](mailto:bm.edificacion@upm.es). Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.