

ANÁLISIS DE COSTES DE VIVIENDAS SEGÚN SU SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

¹Ruá Aguilar, M.J., ²López Mesa, B., ³Guadalajara Olmeda, N.

**¹Departament d'Enginyeria Mecànica i Construcció, Universitat Jaume I
Avda de Vicent Sos y Baynat sn, C.P. 12071, Castellón de la Plana**

**²UD Arquitectura, Universidad de Zaragoza
Pedro Cerbuna 12, C.P. 50009, Zaragoza**

**³Departament d'Economia i Ciències Socials, Universitat Politècnica de València
Camino de Vera sn, C.P. 46022, Valencia**

e-mail: ¹rua@uji.es, ²belinda@unizar.es, ³nguadala@omp.upv.es

RESUMEN

El sector de la construcción tiene una gran importancia en el desarrollo sostenible. La adaptación en España de recientes directivas de la Unión Europea en materia energética, permite definir la calificación de los edificios, en función de su eficiencia energética (EE). Como consecuencia se genera una escala que permite valorar el comportamiento de los edificios en función de su EE.

En España el R.D. 47/2007, de 19 de enero, aprueba el procedimiento básico para la certificación de EE de edificios de nueva construcción. De acuerdo a este procedimiento, una mejor calificación energética está relacionada con una cantidad menor de emisiones de CO₂ a la atmósfera por el uso del edificio. Desde la entrada en vigor del R.D. 47/2007, se han desarrollado, diversas herramientas informáticas, como Calener, que asigna una etiqueta que define la calificación energética de los edificios.

Por lo tanto, para poder obtener mejores edificios desde el punto de vista de su EE, se debe conseguir que estos produzcan las menores emisiones posibles de CO₂ a la atmósfera. La pregunta que se plantea en este punto es si las medidas que conllevan unas menores emisiones de CO₂, se pueden conseguir a un coste económico que sea asumible por los usuarios. En principio parece lógico pensar que viviendas más eficientes exijan mayores costes de construcción, aunque no está tan claro si esta mayor inversión, será compensada por unos menores costes de uso del edificio.

Aquí se presenta parte del trabajo realizado en la Tesis Doctoral realizada y dirigida por las autoras de la presente ponencia, en la que se analizaron los costes que caracterizaban a edificios con diferente calificación energética. Para ello se estudió una promoción de viviendas adosadas real, en la que se combinaron distintas calificaciones energéticas y diferentes zonas climáticas españolas. Las distintas configuraciones se consiguieron modificando algunas medidas que tienen influencia en la EE del edificio, como soluciones constructivas de la envolvente térmica o instalaciones de climatización y agua caliente sanitaria (ACS).

Para cada una de las configuraciones obtenidas (calificación-zona) se realizó un análisis de costes debidos a la construcción y al uso del edificio durante su vida útil. Éstos incluían costes privados, diferenciándose los de construcción, mantenimiento y consumo energético. Este estudio demostraba que, en ese caso y con las hipótesis de partida manejadas, mejores calificaciones incurrían en mayores costes privados. Por ese motivo, se amplió el análisis, incluyendo costes públicos o sociales generados como consecuencia de la emisión de CO₂. Algunos países europeos ya aplican una tasa de carbono para compensar las emisiones de CO₂, y con este análisis se obtuvo un orden de magnitud que podría tener esa tasa en España, de acuerdo a las condiciones de partida del estudio.

Keywords: certificación energética de edificios, emisiones de CO₂, costes privados, costes públicos

1.- Introducción

En la presente comunicación se presentan parte de los resultados obtenidos en la Tesis Doctoral que lleva por título “Método de valoración de viviendas desde la perspectiva medioambiental y análisis de costes”, presentada por M^a José Ruá Aguilar, en julio de 2011. Esta Tesis se desarrolló dentro del programa de doctorado de Valoración de Activos del Departamento de Economía y Ciencias Sociales de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Fue dirigida por Dña. Natividad Guadalajara Olmeda y Dña. Belinda López Mesa, de la UPV y Universidad de Zaragoza, respectivamente.

El trabajo realizado tiene su origen en la creciente preocupación que existe a nivel internacional a causa del cambio climático y sus consecuencias adversas, tanto ambientales como económicas. Entre las medidas para evitar esas consecuencias, se busca disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera generadas por la actividad humana. A este respecto, el protocolo de Kioto supone por primera vez un compromiso, para algunas naciones, de disminuir sus emisiones.

Respecto al control de las emisiones, en la Unión Europea (UE) se utilizan diversos mecanismos, como son el comercio de emisiones, en el sector industrial, o la regulación de las mismas en otros sectores. En lo relativo al sector de la edificación, distintos autores indican que las edificaciones son responsables de alrededor de un tercio de las emisiones de CO₂ en el caso de Europa [1, 2, 3]. Pero por otro lado, el potencial de los edificios en lograr la disminución de las emisiones, supone una esperanza para la obtención de resultados en el futuro [4]. En el caso de la UE, la regulación viene de la mano de las conocidas como directivas EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*), inicialmente la Directiva 2002/91/EC del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre, relativa a la eficiencia energética de los edificios, actualizada por la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo.

Cada Estado miembro es responsable de la transposición de las mencionadas Directivas a sus normativas nacionales. En España se materializa con la puesta en marcha del Código Técnico de la Edificación, en adelante CTE, (R.D. 314/2006, de 19 de octubre), el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los edificios (R.D. 1027/2007, de 20 de julio) y el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción (R.D. 47/2007, de 19 de enero). Esta transposición es parcial, ya que de momento sólo es aplicable a nueva edificación. El procedimiento de certificación energética para edificios existentes, en el momento del estudio, se hallaba todavía en vías de aprobación administrativa, por lo que el trabajo se centró en nueva construcción.

Como consecuencia del procedimiento que describe el RD 47/2007, existe una escala de valor que pondera la aptitud de los edificios respecto a su EE, por medio de unas letras, de A hasta G. La forma de establecer la escala de EE en España se detalla en el informe *Escala de calificación energética. Edificios de nueva construcción* [5]. Existen unos valores límite de emisiones anuales de Kg de CO₂ y de consumo anual de energía primaria, en KWh, para las cinco clases energéticas que se utilizan en España en edificios de nueva construcción (de A a E). En esta escala, A se usa para las mejores calificaciones energéticas y E para las peores. En edificios ya existentes también pueden utilizarse unas calificaciones inferiores F y G, pero los nuevos edificios que cumplan el CTE tendrán siempre una calificación E o

superior. En la práctica, cada calificación viene definida por unos intervalos de emisiones anuales de CO₂.

Por lo tanto, en el momento actual, es posible clasificar los edificios de acuerdo a su mejor o peor EE. En este punto, surge una pregunta de interés tanto para promotores y constructores, como para los usuarios-propietarios de los edificios: ¿cuáles son las implicaciones económicas de la mayor o menor EE de los edificios?

En la valoración de edificios existe multitud de parámetros a considerar que influyen en su valor. Tradicionalmente, la superficie, la localización, características constructivas y la antigüedad del inmueble, han sido decisivos en la adopción del valor. Pese a que hasta hace relativamente poco tiempo la EE no ha sido considerada por los agentes de la construcción o los usuarios de los edificios, como factor de calidad, es previsible un mayor peso de este factor en el valor de los inmuebles en un futuro próximo [6]. En este trabajo se analizan los costes derivados de la construcción y uso de un edificio residencial tipo, considerando su calificación energética.

2.- Metodología

A partir de un edificio residencial se analizan los costes generados por su construcción y durante su vida útil. Este análisis se hace teniendo en cuenta dos variables: por un lado, la calificación energética, como se ha mencionado anteriormente, y por otro lado, la zona climática en la que se sitúa.

Las condiciones climáticas influyen directamente en el consumo energético de los edificios. El CTE establece 12 zonas climáticas en función de la demanda energética de los edificios. Cada una de las capitales de provincia españolas está adscrita a una zona. Dentro de una misma provincia, puede haber distintas zonas climáticas cuando la altitud de una localidad difiera en más de 200 metros, respecto de su capital provincial (apéndice D.1, CTE-HE1). Se ha seleccionado una capital de provincia representativa de cada una de ellas (Tabla 1). La nomenclatura que representa cada zona está compuesta por una letra y un número, que indican la severidad de los veranos e inviernos, respectivamente. La letra A indica el invierno más suave y la letra E el más severo. Por su parte, el número 1 indica el verano más fresco y el número 4 el verano más caluroso. Como consecuencia, al pasar de las zonas climáticas A a la E, aumenta la necesidad de calefacción y aumenta la necesidad de refrigeración de las zonas climáticas 1 a las 4. Algunas combinaciones no existen (celdas en blanco en la tabla 1).

	A	B	C	D	E
1			C1 Santander	D1 Pamplona	E1 Burgos
2			C2 Barcelona	D2 Logroño	
3	A3 Málaga	B3 Castellón	C3 Granada	D3 Madrid	
4	A4 Almería	B4 Sevilla	C4 Badajoz		

Tabla 1. Zonas climáticas y poblaciones representativas escogidas

La combinación de las 5 posibles calificaciones energéticas y 12 zonas climáticas, posibilita obtener 60 configuraciones “calificación-zona”. Finalmente son 50 las obtenidas, al no obtener algunas E o B, como se verá posteriormente. Se examinan estas configuraciones desde el punto de vista de su EE y paralelamente se calculan los costes asociados a cada una de ellas. Por último, se discuten las aportaciones del trabajo, así como sus limitaciones, que, por otro lado, pueden suponer futuras líneas de investigación.

2.1- Material de partida

La metodología de certificación energética, basada en la directiva EPBD, distingue en el caso de edificios residenciales, entre viviendas unifamiliares y viviendas en bloque. Aunque el número de viviendas unifamiliares es menor (30% del total, INE 2001), se ha seleccionado esta tipología, ya que su modelización para la generación de los datos de costes y emisiones de CO₂, es más sencilla que en las viviendas en bloque, y, sobre todo, por su mayor ineficiencia desde el punto de vista energético.

Se analiza una promoción de 13 viviendas adosadas, que fue proporcionada por IBERDROLA Inmobiliaria, promotora inmobiliaria del grupo IBERDROLA. Cada vivienda consta de sótano destinado a garaje y cuartos de instalaciones, y plantas baja y primera destinadas a vivienda. La superficie es de 68'10 m² en planta baja y 58'88 m² en planta primera. Se selecciona una vivienda esquinera, peor que las medianeras desde el punto de vista de la EE, ya que la fachada más larga está expuesta al exterior y, a nivel de sótano, posee una mayor superficie de muro en contacto con el terreno. De entre las seis viviendas en esquina, se seleccionó la orientada 25° N, en la que la mayor superficie de fachada tiene orientación NW (figura 1). La totalidad de la promoción ocupa 2.332 m² de terreno, 154-157 m² por casa y zonas de uso común. Todas las propiedades son accesibles desde el sótano, donde existe una entrada común para todos los propietarios, si bien cada vivienda posee su acceso individual (figura 2).

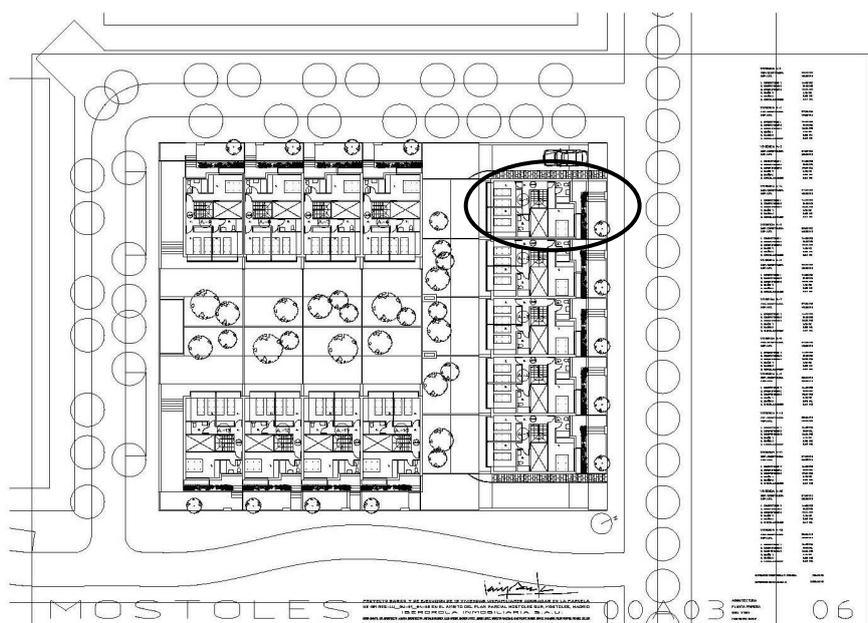


Figura 1. “Plano de emplazamiento de la vivienda seleccionada en la promoción”

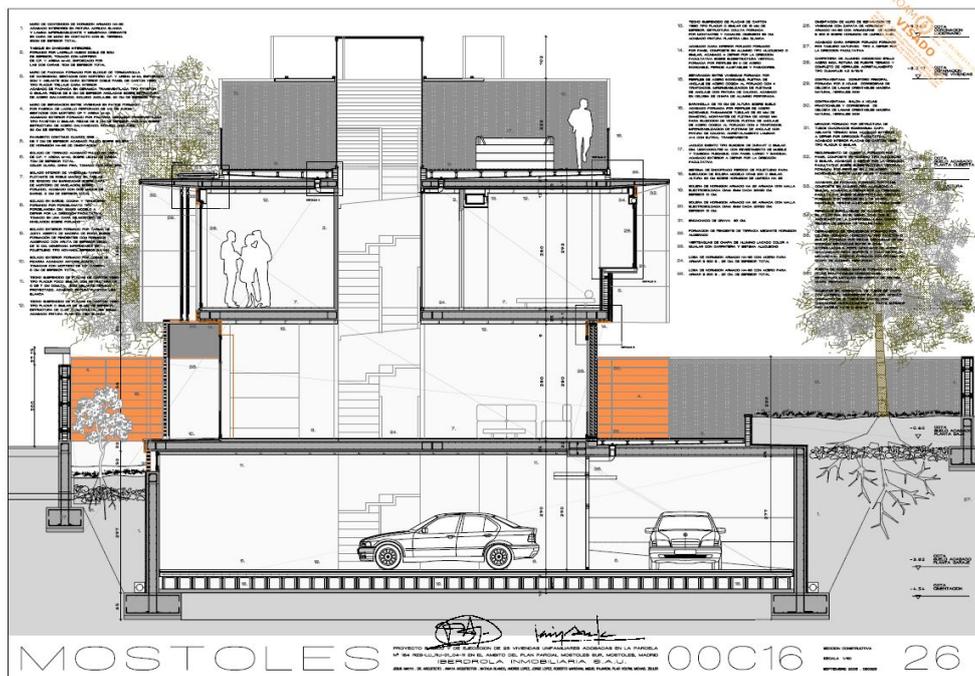


Figura 2. “Sección de la vivienda tipo de proyecto”

2.2.- Medidas que influyen en la EE

Seleccionada la vivienda tipo y los emplazamientos por zona climática, se obtiene su calificación energética. Para ello se utilizó el programa Calener VYP v.01. Originalmente el edificio, proyectado para una zona D3, presenta una serie de características que influyen en esta calificación, subrayadas en la Tabla 2.

Un primer paso, previo a la obtención de las configuraciones calificación-zona, consiste en analizar de forma aislada distintas medidas pasivas y activas que influyen en la EE. Entre las primeras se encuentran los cambios en la orientación del edificio. Entre las segundas, se emplean diversos cambios en las soluciones constructivas de la envolvente térmica y en el combustible para el funcionamiento de las instalaciones de servicio de la vivienda (climatización y ACS). De forma esquemática, la tabla 2 recoge las medidas estudiadas, observándose cómo afectan a la calificación del edificio.

Instalación	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Combustible: electricidad/gasoil/gas natural (GN)/biomasa ▪ Tipo: splits con bomba de calor/splits más radiadores ▪ Contribución de energía solar al ACS: <u>mínimos del CTE/incrementos de esos mínimos en un 15 y un 30%</u>
Orientación	25° / N-S / E-W / NW-SE /NE-SW
Envolvente opaca	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aislamientos en fachada: lana mineral 5 cm/8 cm/10 cm ▪ Inercia térmica: Doble hoja cerámica caravista/<u>fachada ventilada</u>
Voladizos	▪ <u>Presencia/ausencia</u>
Huecos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perfiles: <u>madera/aluminio</u> con y sin rotura de puente térmico/PVC ▪ Reducción superficie de los huecos ▪ Acristalamientos de varios espesores (4-6-4 y 4-6-6 / <u>6-12-4 y 6-12-8</u> /bajo emisivos/de control solar) ▪ Incremento de los sombreadamientos, mediante lamas de aluminio

Tabla 2. Conjunto de medidas influyentes en la EE analizadas

El cambio aislado de cada medida permite analizarlas desde dos perspectivas: por un lado, de la EE, cuantificando la variación en las emisiones de CO₂, y por otro lado, del coste económico. Ello permitirá obtener un porcentaje de reducción emisiones por euro de coste de inversión por cada cambio y zona climática, como se verá en el apartado 3.

Un segundo paso consiste en obtener las configuraciones calificación-zona con las soluciones menos eficientes. Estas conformarán las configuraciones de partida “peores” considerada su EE. Las peores calificaciones posibles, utilizando los paquetes de medidas propuestos, en casi todos los casos eran D, excepto en las zonas B4, C1, C2, D1 y D2, en el que se obtuvo E. La tabla 3 refleja las características generales por zonas climáticas.

Zonas climáticas Medidas EE	A3-A4-B3-B4	C1-C2-C3-C4	D1-D2-D3-E1
ACS	Termo eléctrico	Termo eléctrico	Termo eléctrico
Climatización	Splits con bomba de calor	Splits con bomba de calor	Splits con bomba de calor
Contribución solar para ACS	Mínimos CTE	Mínimos CTE	Mínimos CTE
Fachada	Doble hoja de ladrillo, cámara y LM 5 cm	Doble hoja de ladrillo, cámara y LM 5 cm	Doble hoja de ladrillo, cámara, LM 5 cm y barrera de vapor
Cubierta	Cubierta invertida	Cubierta invertida	Cubierta invertida
Forjados	Hormigón armado	Hormigón armado	Hormigón armado
Perfiles ventanas	Aluminio sin rotura puente térmico	Aluminio con rotura puente térmico	Aluminio con rotura puente térmico
Espesor vidrios	4-6-6 y 4-6-4	4-6-6 y 4-6-4	6-12-4 y 6-12-8

Tabla 3. Medidas generales adoptadas en las peores configuraciones

A continuación se van modificando las medidas que permiten pasar de esta configuración “peor”, a la siguiente y así sucesivamente, hasta alcanzar la calificación A, en cada zona climática. Para ello, se sigue el criterio del menor coste posible.

En el proceso de combinación de medidas, finalmente no se utilizan todas las que se analizaron al inicio. Así, no se consideran aquellas definidas por el diseño del edificio, como la orientación o la dimensión de los huecos. Tampoco los perfiles de PVC, ya que daban resultados de emisiones muy similares a los de madera. Para el caso estudiado además no resultan significativos, en la mayoría de zonas climáticas, ni la variación de voladizos o de la contribución de la energía solar térmica al ACS.

La tabla 4 resume las conclusiones de los cambios necesarios para mejorar la calificación energética, para el caso de estudio [22]:

Cambio	Generalidades en los cambios
E-D	Zonas B4, D1 y D2: Incrementar el espesor de la capa de aislamiento Zonas C1 y C2: Caldera de gas natural con radiadores
D-C	Todas las zonas: Caldera de gas natural con radiadores Incrementar el espesor de los vidrios (zonas A-B-C) Todas las zonas (excepto C3, C4, D1, D2): Carpintería de madera
C-B	Zonas A3, A4, B3 y B4: Caldera de biomasa Zonas C3, C4 y D3: No se alcanza Zonas C1, C2, D1, D2 y E1: Combinación de otras soluciones
B-A	Todas las zonas: Caldera de biomasa Zonas A3, A4 y B4: Incrementar la superficie de sombreado

Tabla 4. Cambios realizados para obtener distintas calificaciones energéticas

2.3.- Componentes del coste

Una vez obtenidas las configuraciones calificación-zona se procede a calcular los costes. Éstos incluyen los costes generados desde el momento de la construcción del edificio hasta el fin de su vida útil. Se consideran los siguientes componentes del coste de cada configuración:

- Coste de inversión: coste de construcción, al comienzo de la vida útil del inmueble. Se obtiene mediante la elaboración de presupuestos de ejecución material y por contrata de la vivienda, sin incluir el IVA. Se utilizan precios 2010 de la base de datos de precios de Cype Ingenieros S.A. La repercusión anual de este coste, se calcula por medio del coste de amortización, analizando la vida útil del edificio y de los elementos con una vida útil más corta, que es necesario ir reponiendo.
- Coste de mantenimiento: coste derivado del mantenimiento de elementos constructivos e instalaciones del edificio. Se analizan las vidas útiles de los distintos elementos del edificio, de acuerdo con diversos autores [7, 8, 9, 10, 11] y diferentes publicaciones del Instituto Tecnológico de Cataluña [12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20]. Se tiene en cuenta las labores que deben reflejarse en los manuales de mantenimiento del Libro del Edificio, de acuerdo con la normativa estatal y autonómica que en ese momento había en España (O.14/02/02, Murcia; D. 35/01, Islas Baleares; D. 38/2004, La Rioja; D.158/1997, Cataluña; D.F.322/2000, Navarra; D. 349/1999, Comunidad de Madrid). Finalmente, se consideran un total de 45 partidas de mantenimiento, teniendo en cuenta su presupuesto y su periodicidad.
- Coste de consumo energético: coste de las facturas energéticas que se tienen que pagar por el uso del edificio. Se consideran tres tipos de energía para calefacción y ACS: electricidad, gas natural y biomasa. Para la refrigeración en todos los casos se utiliza electricidad. Se adoptan los datos de consumo que proporciona Calener VYP. Las tarifas adoptadas de electricidad y gas, se obtienen del BOE 31-12-09, sin incluir el IVA. El cálculo del precio de la biomasa se obtiene como media de los precios de mercado de distintas empresas suministradoras, al no existir tarifas oficiales, incluyendo además los costes de los portes.

Resulta previsible que mejores calificaciones energéticas de los edificios generen mayores costes de inversión, amortización y mantenimiento. De hecho, el estudio Precost&E de la Universidad de Politécnica de Madrid [21], obtuvo para viviendas en bloques plurifamiliares en Madrid, un incremento del 5-8% de los costes de construcción al mejorar la calificación, resultados similares a los obtenidos en este

estudio. Sin embargo, también deben generar un beneficio por ahorro energético, y una menor contaminación ambiental o coste para la sociedad, lo cual podría favorecer el desarrollo de viviendas eficientes energéticamente.

La EE, medida por medio de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, no influye en el coste privado del usuario del inmueble. Se considera como un coste público o social. Este tipo de coste es una externalidad negativa y es difícilmente cuantificable. Una posible forma de internalizarlo es aplicar una tasa medioambiental para que interese a los ciudadanos mejorar la calificación energética de sus viviendas. En algunos países del norte de Europa se aplica ya un tipo de impuesto medioambiental por emitir CO₂. Finlandia, Noruega, Dinamarca y Suecia introdujeron unas tasas de carbono en los años 1990, 1991, 1992 y 1996, respectivamente. Esta medida parece ser efectiva, pues distintos estudios revelan una reducción en las emisiones del 3% y 7% en Noruega y Suecia, respectivamente, y un 10% de reducción del consumo energético en Dinamarca [22].

Para el cálculo de una posible tasa ambiental se ha tenido en consideración el enfoque del análisis de inversiones. Se adopta el enfoque propio de la evaluación de proyectos, que consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante un tipo de actualización) todos los flujos de caja futuros del proyecto, incluido el coste de la inversión inicial. Al valor obtenido se le denomina Valor Actual Neto (VAN) y mide la rentabilidad absoluta neta (ec. 1).

$$VAN = -INV + \sum_{n=1}^T \frac{C_n - P_n}{(1+r)^n} \quad (1)$$

Siendo,

INV: coste de la construcción o inversión en el momento cero

C_n: cobros en el periodo n, en valores constantes

P_n: pagos en el periodo n, en valores constantes

r: tipo de actualización real

T: horizonte temporal de la inversión

Para cada zona climática “z” y para cada solución constructiva “s” se obtendrá una rentabilidad financiera que vendrá dada por su VAN, siendo la solución óptima para los propietarios-usuarios de la vivienda aquella que proporcione un mayor VAN, y por tanto una mayor rentabilidad financiera, expresado por la ecuación 2:

$$\text{máx } VAN_{zs} = INV_{zs} + \sum_{n=1}^T \frac{(C_{zsn} - P_{zsn})}{(1+r)^n} \quad (2)$$

El incremento de costes para mejorar de la calificación energética inicial (i) a otra siguiente mejor (f), en una unidad de escala, esto es, el coste marginal (C') vendría dado por la ecuación 3:

$$C' = \frac{\Delta \left(INV_{zs} + \sum_{n=1}^T \frac{(P_{MANzsn} + P_{ENzsn} + P_{COzsn})}{(1+r)^n} \right)}{\Delta \text{Calificación}} = \frac{\left(INV_{zf} + \sum_{n=1}^T \frac{(P_{MANzfn} + P_{ENzfn} + P_{COzfn})}{(1+r)^n} \right) - \left(INV_{zi} + \sum_{n=1}^T \frac{(P_{MANzini} + P_{ENzini} + P_{COzini})}{(1+r)^n} \right)}{\Delta \text{Calificación}} = 0 \quad (3)$$

El coste a los ciudadanos por las emisiones de CO₂ (P_{CO2}) se obtendrá como el producto de la tasa medioambiental (t) por los Kg de CO₂ emitidos (KCO₂). Despejando de la expresión anterior (ec. 3) se obtiene la expresión para el cálculo de la tasa:

$$\frac{INV_{zf} - INV_{zi} + \sum_{n=1}^T \frac{P_{MANzfn} + P_{ENzfn}}{(1+r)^n}}{\sum_{n=1}^T \frac{(KCO_{2zfn} - KCO_{2zfn})}{(1+r)^n}} \quad (4)$$

Se utilizan cobros y pagos en lugar de ingresos o costes, por lo que se va a suponer que todos los ingresos y costes son al contado, y por lo tanto se hablará indistintamente de costes o pagos. Además, se utilizan valores reales de acuerdo con la Orden ECO 805/03, de 27 de marzo, para la valoración hipotecaria, y sin tener en cuenta el IVA, con el fin de simplificar los cálculos. Se considera una tasa de actualización del 3,5%.

3.- Resultados

3.1.- Costo-efectividad de las medidas de eficiencia energética

El cambio de las medidas una a una, según las dos perspectivas utilizadas, EE y coste económico, permite obtener un índice de costo-efectividad recogido en la Tabla 5.

Medidas	Zonas climáticas											
	A3	A4	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	E1
Caldera gasoil	0,042	0,040	0,043	0,042	0,042	0,044	0,046	0,044	0,046	0,046	0,047	0,048
Caldera GN estándar	0,027	0,026	0,028	0,027	0,026	0,028	0,030	0,028	0,030	0,030	0,029	0,030
Caldera GN baja temper	0,052	0,049	0,054	0,052	0,051	0,054	0,057	0,055	0,058	0,058	0,057	0,059
Caldera GN condens.	0,022	0,021	0,023	0,023	0,022	0,023	0,025	0,024	0,025	0,025	0,024	0,025
Caldera biomasa	0,006	0,007	0,007	0,007	0,007	0,006	0,008	0,007	0,008	0,008	0,008	0,008
Splits + radiadores	0,084	0,078	0,058	0,097	0,081	0,068	0,061	0,069	0,050	0,063	0,056	0,085
LM 8 cm	0,396	0,412	0,393	0,443	0,381	0,363	0,412	0,428	0,399	0,400	0,377	0,417
LM10 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	0,167	0,167	0,157	0,174
Marco madera	0,011	0,010	0,010	0,010	0,015	0,017	0,013	0,013	0,015	0,015	0,017	0,013
Vidrio 6-12-4 y 6-12-8	0,064	0,064	0,062	0,063	0,065	0,063	0,063	0,059	-	-	-	-
Vidrio bajo emisivo	0,032	0,032	0,030	0,031	0,030	0,029	0,028	0,031	0,029	0,029	0,029	0,029

Tabla 5. Porcentaje de reducción emisiones por euro de coste de inversión por cada cambio y zona climática (LM: lana mineral)

La Tabla 5 indica que el mayor ratio se consigue con el incremento del espesor de la capa de aislamiento en la envolvente del edificio. La diferencia con el resto de medidas es significativa. Las siguientes dos medidas más efectivas serían el uso de radiadores en calefacción y la mejora del vidrio, seguidas del uso de calderas y vidrios bajo emisivos. De entre las calderas, la de baja temperatura es la que resulta más conveniente. Debido a su alto coste de inversión, las medidas que presentan peor ratio son la carpintería de madera y la caldera de biomasa.

3.2.- Cálculo de costes

Los presupuestos generados para cada configuración, tanto de costes de amortización como de mantenimiento, junto con los consumos energéticos y las tarifas de la energía, permiten obtener los costes privados anuales. Por otro lado, la simulación con Calener permite hallar las emisiones anuales de cada configuración.

Calificación		A		B		C		D		E	
		CO2	C	CO2	C	CO2	C	CO2	C	CO2	C
Zona Climática	A3	4.30	26.10	7.00	25.60	14.60	24.16	23.30	22.33	--	--
	A4	4.30	27.44	7.90	26.55	14.00	24.30	22.50	22.38	--	--
	B3	5.40	26.50	6.00	26.09	16.70	24.64	27.50	22.93	--	--
	B4	6.20	27.51	10.00	26.30	17.50	24.98	27.70	23.55	28.20	23.16
	C1	4.50	28.38	12.70	27.42	19.50	27.84	22.20	27.25	33.50	25.74
	C2	4.50	29.20	12.70	27.22	20.10	27.73	21.90	26.69	32.30	25.77
	C3	7.00	24.80	--	--	22.90	28.49	36.20	26.52	--	--
	C4	6.50	24.12	--	--	20.00	24.54	31.10	23.55	--	--
	D1	3.10	31.82	19.40	29.31	28.60	29.86	44.90	27.47	46.00	26.68
	D2	4.50	30.54	17.80	28.57	27.70	29.19	42.60	28.47	43.60	26.94
	D3	5.90	30.75	--	--	25.20	29.17	37.60	27.06	--	--
	E1	2.00	29.62	24.70	27.61	32.10	27.87	51.80	26.63	--	--

Tabla 6. Costes privados (C, medido en €/m²año) y emisiones de CO₂ (CO₂, medido en Kg/m²año)

De la tabla 6 se desprende que mejores calificaciones energéticas implican mayores costes privados, al considerar los tipos de costes analizados. Ello quiere decir, que el ahorro energético no es suficiente para compensar los mayores costes por el resto de conceptos analizados (amortización y mantenimiento). En las condiciones actuales, la mejora de la clase energética solamente puede resultar rentable económicamente si se tienen en cuenta otro tipo de costes.

Por otro lado, como es lógico, las emisiones disminuyen al mejorar la clase energética. La posibilidad de imputar un coste monetario a las emisiones de CO₂ podría ser utilizado como argumento para promover la adquisición o uso de viviendas más eficientes energéticamente. Las herramientas informáticas desarrolladas para certificar energéticamente los edificios, posibilitan obtener cuantías de emisiones de CO₂ de los edificios que se simulan, lo cual es un punto de partida para el cálculo del coste producido por dichas emisiones.

Este tipo de coste es un coste social. Constituye una externalidad que es de difícil cuantificación económica. En este trabajo se propone la obtención del mínimo precio

que debería pagarse por la emisión de una tonelada de CO₂, para que resultara más rentable optar por una calificación energética más favorable, lo que se podría constituir una tasa a pagar por emitir CO₂.

La estimación de las tasas es un ejercicio complicado y laborioso, que debe ser analizado para cada vivienda en particular, sin poder obtenerse un valor general para todas las viviendas en España. Las tasas medioambientales obtenidas en el caso de estudio dependen de la zona y la calificación de la vivienda (ec.4), siendo su valor medio de 100 €/tCO₂ y la moda de 47 €/tCO₂. La tabla 7 presenta los valores actualizados de costes privados, para cada configuración.

Zona	E	D	C	B	A
A3		281.673	306.825	321.167	336.731
A4		286.370	309.530	334.581	355.159
B3		287.782	312.815	326.836	337.869
B4	289.457	327.764	338.969	343.089	345.453
C1	312.638	345.264	357.286	361.451	363.339
C2	321.457	334.175	345.073	347.980	359.152
C3		297.297	309.236		332.270
C4		281.761	296.682		329.488
D1	330.495	335.915	345.106	350.928	368.014
D2	320.450	330.890	340.230	346.109	361.788
D3		331.042	355.201		370.565
E1		306.594	326.301	335.695	342.560

Tabla 7. Valores actualizados en € de costes privados

4.- Conclusiones y discusión

La EE de los edificios va cobrando cada vez más relevancia y previsiblemente será un parámetro que influya de manera significativa en el valor de los inmuebles. En los últimos años en Europa y, concretamente en España, las regulaciones y procedimientos para poder ponderar este parámetro están en vías de desarrollo. Sin embargo, poco se ha concluido hasta el momento acerca de la influencia de este factor en la valoración económica de los inmuebles. Con este estudio se pretende contribuir a este aspecto.

En este trabajo, por primera vez, se analizan todas las posibles calificaciones energéticas, en combinación con todas las zonas climáticas en el territorio español. Por otro lado, se consideran costes tanto de la construcción como los ocasionados durante la vida útil del edificio, incluyendo los del mantenimiento y consumo energético del mismo y se cuantifica el coste social de las emisiones de CO₂ derivadas del uso del edificio.

Las conclusiones que se derivan de este trabajo son principalmente que viviendas más eficientes energéticamente suponen mayores costes privados, considerando conjuntamente los costes de la inversión y/o amortización, del mantenimiento y del coste de la energía. Por lo tanto, el ahorro energético no compensa suficientemente el resto de costes.

Por otro lado, el coste social derivado de las emisiones de CO₂ por el uso de la vivienda, se podría internalizar por medio de una tasa medioambiental, medida ya adoptada en otros países. Esto podría contribuir a la rentabilidad a la hora de

seleccionar viviendas con mayor EE. Con las hipótesis de cálculo manejadas se ha obtenido un valor para esta tasa medio de 100 €/tCO₂.

La complejidad de la valoración de este tipo de bien, en el que se integran costes de muy distinta naturaleza, unido a la larga vida útil que tienen los edificios, hace que el estudio presente ciertas limitaciones que se enumerarán a continuación. Sin embargo, supone un importante punto de partida y deja abiertas distintas líneas de investigación:

1. Sólo se analizan usos residenciales, y en concreto, viviendas unifamiliares. Como consecuencia, debería ampliarse el estudio a edificios con otros usos (comercial, industrial) y a otras tipologías residenciales (viviendas unifamiliares aisladas, viviendas bloque aislado y entre medianeras).
2. Las medidas para variar la EE del edificio han sido limitadas. La gran cantidad de medidas que pueden utilizarse, hace que haya que limitar el estudio a un grupo de ellas, que se consideraron por ser medidas estándar frecuentemente utilizadas. Por otro lado, la herramienta empleada para la certificación energética, Calener VYP, no permite simular algunas las soluciones constructivas ni instalaciones que podrían resultar interesantes como medidas de mejora de la EE (instalación solar fotovoltaica, muros trombé, etc).
3. El edificio estudiado es de nueva construcción. El programa utilizado y las normativas existentes en el momento de realizar el trabajo, son aplicables a estas edificaciones. No obstante, a la vista del parque edificatorio existente en España y del desarrollo de las normativas referentes a este tipo de edificación, es previsible que aumente la trascendencia de la investigación en rehabilitación energética. En este sentido podrían considerarse este tipo de estudio desde un punto de vista más global como es de la Regeneración Urbana Integrada, donde adquiere mayor importancia el análisis de las externalidades, al ser relevante no sólo la vertiente medioambiental, sino también la social y la económica.
4. Se considera únicamente el periodo de uso del edificio. El análisis podría ampliarse teniendo en cuenta la metodología del análisis del ciclo de vida. Desde esta perspectiva, se consideran todas las fases en las que los componentes que forman parte de la edificación estén implicados, ésto es, los materiales utilizados, su proceso fabricación, puesta en obra, mantenimiento e incluso la gestión de los residuos una vez terminada su vida útil.

REFERENCIAS

- [1] Balaras C.A., Drousa K., Dascalaki E., Kontuyiannidis S. (2005), Deterioration of European apartment buildings. *Energy and Buildings*. **37**, 515-527.
- [2] Pérez-Lombard L., Ortiz J., González, R. (2008), A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. *Energy and Buildings*. **41**, 272-278. doi: 10.1016/j.enbuild.2008.10.004.
- [3] Hamdy M., Hasan A., Siren, K. (2011), *Applying a multi-objective optimization approach for design of low-emission cost-effective dwellings*. *Building and Environment*. **46**, 109-123.
- [4] Pachauri R.K., Reisinger, A. (2007), *Cambio Climático 2007: Informe de Síntesis*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Ginebra, Suiza.
- [5] AICIA (2009) *Escala de calificación energética. Edificios de nueva construcción*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Madrid.
- [6] Popescu D., Maldin A.C., Boazu R., Bienert S. (2009), Methodology for Real Estate Appraisal of Green Value. *Environmental Engineering and Management Journal*. **8**, 601-606.

- [7] Piper J. E. (1995). *Handbook of Facility Management: Tools and Techniques, formulas and tables*. Prentice Hall Inc.
- [8] Brown D.W. (1996), *Facility Maintenance: The manager's practical guide and handbook*. AMACOM American Management Association.
- [9] Liska R. W. (2000), *Means Facilities Maintenance Standards*. R.S. Means Company, Inc. Construction Publishers & Consultants.
- [10] Kaiser H.H. (2001), *The Facilities Audit. A process for improving facilities conditions*. Kirby Lithographic. APPA. The Association of Higher Education Facilities Officers.
- [11] Brathal D., Langemo M. (2004), *Facilities Management: A guide for total workplace design and Management*. Knight Printing. Grand Forks, North Dakota.
- [12] Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. (1991) *Manual de uso y conservación de la vivienda*. COAAT Principado de Asturias. Simancas Ediciones S.A. Valladolid.
- [13] Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (1991), *Manteniment de l'edifici. Fitxes*. 1ª Edició. Gràfiques Pacífic.
- [14] Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (1991). *Manteniment instal·lacions. Fitxes*. 1ª Edició. Gràfiques Pacífic.
- [15] Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (1991), *Manteniment urbanització. Fitxes*. 1ª Edició. Gràfiques Pacífic.
- [16] Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (1994), *L'actualitat i el cost del manteniment en edificis d'habitatge. Guia pràctica*. 1ª Edició. Gama S.L. Servicios editoriales.
- [17] Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (1996), *Ús i manteniment de l'habitatge. Quadern de l'usuari*. 1ª Edició, Gràfiques Cometa.
- [18] Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (1997), *La vivienda: manual de uso y mantenimiento*. COAAT de Cantabria. 1ª Edició.
- [19] Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (1999), *La vivienda: manual de uso y mantenimiento*. COAAT Principado de Asturias. 2ª Edició. Simancas Ediciones S.A. Valladolid.
- [21] Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Construcción y Vías Rurales (2009). *Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la calificación energética de viviendas*. Precost&E. (Fase1). http://www.construible.es/construible/biblioteca/estudio_asprima_precost-e.pdf
- [22] Dresner S., Ekins P. (2006), Economic Instruments to improve UK Home Energy Efficiency without Negative Social Impacts. *Fiscal Studies*. **27**, 47-74.
- [23] Ruá M. J., López-Mesa B. (2011), Certificación energética de edificios en España y sus implicaciones económicas. Informes de la Construcción (En prensa).
- [24] Rudbeck C. (2002), Service life of building envelope components: making it operational in economical assessment. *Construction and Building Materials*, **16**, 83-89.
- [25] Johnstone I.M. (2001), Energy and mass flows of housing: a model and example. *Building and Environment*, **36**: 27-41.
- [26] Johnstone I.M. (2001), Energy and mass flows of housing: estimating mortality. *Building and Environment*, **36**: 43-51.
- [27] Davies, H., Wyatt, D. (2004), Appropriate use or method for durability and service life prediction. *Building Research and Information*. **32**, 552-553. doi: 10.1080/0961321042000291938