



Dyna

ISSN: 0012-7353

[dyna@unalmed.edu.co](mailto:dyna@unalmed.edu.co)

Universidad Nacional de Colombia  
Colombia

Zaragoza- Fernández, Sonia; Tarrío-Saavedra, Javier; Naya, Salvador; López-Beceiro, Jorge; Álvarez-García, Ana

Impact estimates of the actions for the rehabilitation of energy efficiency in residential building

Dyna, vol. 81, núm. 186, agosto, 2014, pp. 200-207

Universidad Nacional de Colombia  
Medellín, Colombia

Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49631663027>

- How to cite
- Complete issue
- More information about this article
- Journal's homepage in [redalyc.org](http://redalyc.org)

[redalyc.org](http://redalyc.org)

Scientific Information System  
Network of Scientific Journals from Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal  
Non-profit academic project, developed under the open access initiative

# Impact estimates of the actions for the rehabilitation of energy efficiency in residential building

Sonia Zaragoza- Fernández <sup>a</sup>, Javier Tarrío-Saavedra <sup>b</sup>, Salvador Naya <sup>c</sup>, Jorge López-Beceiro <sup>d</sup>  
& Ana Álvarez-García <sup>e</sup>

<sup>a</sup> Escuela Politécnica Superior, Universidad de A Coruña, España, [sonia.zaragoza@udc.es](mailto:sonia.zaragoza@udc.es)

<sup>b</sup> Escuela Politécnica Superior, Universidad de A Coruña, España, [jtarrío@udc.es](mailto:jtarrío@udc.es)

<sup>c</sup> Escuela Politécnica Superior, Universidad de A Coruña, España, [salva@udc.es](mailto:salva@udc.es)

<sup>d</sup> Escuela Politécnica Superior, Universidad de A Coruña, España, [jlopezb@udc.es](mailto:jlopezb@udc.es)

<sup>e</sup> Escuela Politécnica Superior, Universidad de A Coruña, España, [aalvarez@udc.es](mailto:aalvarez@udc.es)

Received: September 17th, 2012. Received in revised form: May 17th, 2014. Accepted: July 14th, 2014.

## Abstract

The prediction of energy savings and indoor air quality resulting from the implementation of rehabilitation measures for energy efficiency in residential buildings is paramount to invest in the right technology and optimize available resources. In this paper, we propose a new methodology, based on actual data collection, to quickly and effectively assess energy efficiency and air quality of housings, considering variables such as the customs of the occupants, regulations and the constructive typology. The effect corresponding to the reforms carried out for energy efficiency rehabilitation in four homes built at different periods, under different rules, with different levels of occupancy and characteristics of its constructive elements is evaluated successfully.

**Keywords:** Energy efficiency; building; energy performance; sustainable building; rehabilitation; indoor air quality.

# Estimación del impacto de acciones en la rehabilitación de la eficiencia energética en la edificación residencial

## Resumen

La predicción del ahorro energético y la calidad del aire interior resultante de la aplicación de medidas de rehabilitación de la eficiencia energética en edificios residenciales es de importancia capital para poder invertir en la tecnología correcta y optimizar los recursos disponibles. En este trabajo se propone una nueva metodología, basada en la toma de datos reales, para estimar rápida y eficazmente la eficiencia energética y calidad del aire de las viviendas atendiendo a variables como las costumbres de los ocupantes, normativa y tipología constructiva. Se evalúa con éxito el efecto de las reformas efectuadas para la rehabilitación de la eficiencia energética de 4 viviendas construidas en diferentes épocas, bajo distinta normativa, con diferente nivel de ocupación y características de sus elementos constructivos.

**Palabras Clave:** Eficiencia energética; edificación residencial; modelizado energético; edificación sostenible; rehabilitación; calidad del aire interior.

## 1. Introducción

El sector de la edificación es el responsable de una gran parte de las emisiones de dióxido de carbono, además de otros contaminantes, asociados al consumo de electricidad. De hecho, la energía consumida en edificios no industriales fluctúa entre el 20 y el 60% de la energía total, dependiendo del país objeto de estudio. [1]. Por tanto, la implantación de técnicas de rehabilitación que disminuyan el consumo

energético y, como consecuencia, la emisión de gases a la atmósfera, se hace cada vez más necesaria [2, 5].

Una rehabilitación fiable requiere un método de diseño eficaz, apropiado para alcanzar los fines previstos; pero dadas las variaciones aleatorias de las condiciones climáticas, de las propiedades de los materiales respecto al tiempo, de la capacitación de la mano de obra, del comportamiento de los ocupantes, etc., las técnicas de evaluación que hoy en día se utilizan no garantizan a medio

y largo plazo el logro todos los objetivos deseables.

Un edificio es un medio complejo, constituido por un gran número de estancias comunicadas térmicamente entre sí a través de paramentos horizontales y verticales. Además está en contacto con el exterior con el que intercambia calor por convección-conducción y radiación (insolación). Por otra parte, incluye dispositivos de generación de energía de diversa naturaleza: gas, biomasa, solar térmico, solar fotovoltaico, etc., por lo que también está conectado a la red eléctrica general. El comportamiento de estos dispositivos está determinado por los usos y costumbres de los ocupantes.

La elaboración de un modelo matemático del comportamiento térmico de un edificio se basa en el principio de conservación de la energía. Principalmente, se consideran dos familias de modelos: de parámetros distribuidos y de parámetros concentrados. Los primeros calculan la temperatura local en cada punto del medio tridimensional; los segundos lo hacen tan solo en un número finito de puntos o, dicho de otro modo, proporcionan una temperatura media espacial en ciertos subconjuntos de dicho medio (por ejemplo, en las estancias de un edificio).

Para escribir el modelo es necesario conocer una serie de características geométricas y constructivas del edificio. Así, por ejemplo, se precisa saber cómo han sido construidos los diferentes paramentos horizontales y verticales, interiores y exteriores (espesores de las diferentes capas y materiales que las componen) para determinar su resistencia térmica y su capacidad calorífica. En un edificio por construir, estos datos forman parte del proyecto, pero en un edificio ya construido y con cierta antigüedad puede ser necesario recurrir a catas para obtenerlos.

Por otra parte, es necesario conocer las condiciones climáticas del emplazamiento y su orientación; esta última a fin de determinar el calor que recibe por radiación solar. Finalmente, hay que proporcionar las características de la ocupación, consumo y tipología de instalaciones, así como del sistema de climatización instalado y la energía que este sistema intercambia en cada estancia a partir de la toma de muestra.

En un estudio de rehabilitación de la eficiencia energética es muy importante aplicar modelos que estimen las renovaciones de aire a través del muestreo de uno de sus componentes, como es el caso de un gas trazador o contaminante común como el CO<sub>2</sub>. Este tipo de modelo se compone de una serie de balances de masa que permiten conocer a cada instante y en cada estancia las condiciones higrométricas y la cantidad de CO<sub>2</sub> en aire. Un modelo de calidad del aire interior debe tener en cuenta la renovación del aire efectuada por la ventilación natural en todos los casos. Esta última variable influye también en el modelo térmico anteriormente mencionado, por lo que también aquí deberá tenerse en cuenta. A causa del carácter aleatorio de ciertos inputs, relacionado con los usos y costumbres de sus ocupantes, es necesario realizar un análisis estadístico de los datos a modelar [6,8].

A diferencia de programas actuales de modelización energética, esta metodología permite tener un dominio completo tanto de las variables de entrada que pueden ser todas reales o tomadas a partir de bases de datos según caso,

como también de la formulación, permitiendo realizar modelados a través de ingeniería inversa. Un ejemplo de ello puede ser la toma de información real de la temperatura exterior e interior, calculándose la energía que se intercambia por los cerramientos y obteniéndose de esta manera resultados mucho más precisos en las simulaciones. Este procedimiento de modelización energética es también mucho más versátil ya que se adapta rápidamente a todas las normativas de cada país y horarios de uso de las viviendas, pudiendo ser aplicado específicamente solo en horas de utilización, horario completo, etc. Otra característica de la metodología que aquí se presenta es la rapidez para la obtención de resultados (del orden de minutos) en comparación con otros programas actuales del mercado. Esto permite realizar comparativas constructivas y comprobar los ahorros energéticos en un tiempo significativamente inferior.

En el presente trabajo se pretende estudiar la rehabilitación de la eficiencia energética de cuatro viviendas de manera que se mejore el confort térmico de las mismas, manteniendo en todo momento la calidad de aire interior. Este estudio se ha realizado teniendo en cuenta factores como la normativa aplicada en la construcción de cada vivienda estudiada, la tipología constructiva de cada una, las costumbres de sus ocupantes y la calidad de aire interior.

Dada la radicación de las viviendas estudiadas, la normativa aplicable en todos los casos ha sido la española. La normativa existente en España relativa a la eficiencia energética aplicable a la construcción data de 1957[9]. Pero no es hasta 1979, con la entrada en vigor de la Norma Básica de la Edificación [10], cuando la administración pública adopta las primeras medidas encaminadas a la consecución de un ahorro energético a través de una adecuada construcción de los edificios. En 2007, con la entrada en vigor del nuevo Código Técnico de la Edificación [11], en su apartado de Ahorro de Energía y Salubridad, se experimenta una evolución en lo que respecta a las medidas encaminadas a la consecución de un ahorro energético.

Se han seleccionado cuatro viviendas, todas ellas situadas en las coordenadas longitud 8° 14'W, latitud 43° 29'N, altitud 10m snm. Se han agrupado por parejas, de manera que la primera de ellas se compone de viviendas con fachada de galería, mientras que la otra lo hace de viviendas con fachada de cerramiento y ventana. Además, estas parejas han de cumplir que una vivienda sea de construcción anterior a la Norma básica de la Edificación (circunscrita al caso español) y la otra construida teniendo en cuenta ya el Código Técnico de la Edificación. Mediante este procedimiento se pueden valorar construcciones sujetas a un mismo clima y de un mismo tipo, pero edificadas bajo normativas diferentes. En un caso la normativa no tiene en cuenta la eficiencia energética mientras que en el otro la hace obligatoria en la construcción.

## 2. Experimental

El procedimiento experimental de toma de datos se ha realizado mediante el uso de sensores de calidad de aire y ambiente térmico PCE-GA 70, capaces de realizar medidas de concentración de CO<sub>2</sub>, temperatura ambiente y humedad



Figura 1. Vivienda A  
Fuente: Los autores

relativa del aire. Sus especificaciones técnicas son las siguientes:

En referencia a las medidas de CO<sub>2</sub> presente en aire, presentan un rango de medición entre 0 y 66000 ppm, una precisión del 3% del valor de medición o  $\pm 50$  ppm y una resolución de 1 ppm. En lo que respecta a la medición de temperatura, el rango de medición está definido entre -20 y 60°C, su precisión y resolución son de  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  y  $0,1^\circ\text{C}$ , respectivamente. Finalmente, la humedad relativa presente en el aire se mide en un rango de 10-95%, con una precisión y resolución de  $\pm 3\%$  y  $0,1\%$ , respectivamente.

También se ha utilizado una cámara termográfica PCE TC4. Algunas de sus características técnicas más importantes son las siguientes: rango de temperatura total entre -10 y 900°C (mediante un sensor microbolómetro no refrigerado), rango bajo (sin filtro) entre -10 y 250°C, rango alto (con filtro) entre 50 y 900°C, precisión del  $\pm 2\%$ , resolución de pantalla igual a 192 x 192 píxeles, campo de visión de 192 x 192 píxeles, campo de visión (FOV) de 20° x 15°, foco manual y distancia de medición desde 50 cm hasta el infinito.

Los datos de las condiciones climáticas exteriores han sido aportados por la Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Infraestructuras de la Xunta de Galicia, tomados en sus instalaciones meteorológicas localizadas en Ferrol (España).

Se ha empleado el software commercial EES (Engineering Equation Solver, for Microsoft Windows Operating Systems) para la realización de los cálculos necesarios [12, 13].

### 2.1. Viviendas objeto de estudio

A continuación se describe cada una de las viviendas a estudiar:

- I. las galerías de carpintería de madera de tipo guillotina por otras de carpintería de aluminio de tipo corredera con cristal simple. En el año 2005 sufrió una segunda rehabilitación por la cual las antiguas galerías simples

pasaron a ser dobles. Orientación suroeste. El nivel de ocupación de esta vivienda es de cinco personas.

- II. Residencia B. Vivienda de construcción del siglo XIX, con cerramientos de piedra y galerías. Sufrió dos rehabilitaciones, la primera en la década de los años 80 del siglo XX, por la cual se cambiaron los suelos de madera de la vivienda por forjados hormigón armado y las galerías de carpintería de madera y tipo guillotina por otras de carpintería de aluminio y tipo corredera con cristal simple. Orientación suroeste. El nivel de ocupación de esta vivienda es de dos personas.
- III. Residencia C. Vivienda de construcción de los años 70, de cerramiento con doble tabique de ladrillo y con cámara de aire de 12 cm. Ventanas dobles de aluminio tipo corredera con cristal sencillo. Orientación sur. El nivel de ocupación de esta vivienda es de una persona.
- IV. Residencia D. Vivienda de construcción moderna del 2008, con ladrillo cara vista y ventanas de doble cristal con cámara de aire. Orientación sur – suroeste. El nivel de ocupación de esta vivienda es de dos personas.



Figura 2. Vivienda B  
Fuente: Los autores



Figura 3. Vivienda C  
Fuente: Los autores



Figura 4. Vivienda D

Fuente: Los autores

### 3. Metodología

El procedimiento seguido para el estudio de la rehabilitación de la eficiencia energética de las cuatro viviendas fue el siguiente:

1. Toma de medidas de temperatura, humedad relativa y niveles de CO<sub>2</sub> en el interior de las viviendas, en modo continuo durante 48 h. Las medidas fueron tomadas en el salón de las viviendas, ya que es la estancia con mayor tiempo de ocupación.
2. A la vez que las interiores, toma de medidas en el exterior: temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento, y presión barométrica.
3. Toma de imágenes termográficas, para evaluación de las temperaturas superficiales y cálculo de la temperatura operativa interior.
4. Análisis detallado de las características constructivas de cada vivienda, dimensiones, orientación y materiales de construcción;
5. Al mismo tiempo que se monitorizaron los datos meteorológicos, la calidad de aire interior y exterior, también se evaluaron las costumbres de los ocupantes mediante un cuestionario, con el que se obtienen los datos horarios de entrada y salida de la estancia, conexión y desconexión de los dispositivos eléctricos, apertura y cierre de ventanas, etc.
6. A partir de las medidas tomadas en continuo tanto en el exterior como en el interior, se calcularon los promedios horarios, obteniendo directamente los valores de la calidad de aire interior de la vivienda, el cual podrá seguidamente clasificarse atendiendo a la norma vigente. La normativa española Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [14], clasifica la calidad del aire, tal y como se muestra en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1.  
Niveles de calidad de aire

Clasificación	Calidad	CO <sub>2</sub> (ppm*)
IDA 1	óptima	350
IDA 2	buena	500
IDA 3	media	800
IDA 4	baja	1200

\*Concentración de CO<sub>2</sub> (ppm) por encima de la concentración del aire exterior de 400ppm.

Fuente: ES Ministerio de la Presidencia. [14].

Las renovaciones de aire en el interior de una vivienda son debidas al efecto combinado de la diferencia de densidades debido a las condiciones no isotérmicas, a las diferencias adicionales de presión producidas por el viento exterior y a los ventiladores. Las renovaciones de aire pueden ser voluntarias, por ejemplo, debido a aperturas de ventanas, o involuntarias, debidas a entradas de aire por intersticios en las carpinterías, por las rejillas de ventilación de los baños, etc. Aplicando el balance de materia a un contaminante se obtienen las renovaciones totales de aire en el interior. Este valor también está regulado por el Código Técnico de la Edificación (CTE) para viviendas residenciales en un mínimo de 0.5 renovaciones a la hora.

El cálculo de las renovaciones de aire se realiza utilizando la siguiente expresión:

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{Q}{V} + nC_o - a_{dg}C_i - nC_i \quad (1)$$

Donde:

$C_i$  [mg/m<sup>3</sup>] es la concentración del contaminante en el aire interior.

$Q$  [mg/h] es la tasa de emisión.

$V$  [m<sup>3</sup>] es el volumen de espacio interior.

$C_o$  [mg/m<sup>3</sup>], la concentración del contaminante en el aire atmosférico.

$n$ , tasa de ventilación por hora.

$a_{dg}$ , tasa de degradación interior horaria del gas (en este caso es 0 ya que el CO<sub>2</sub> no se degrada) [15].

De esta expresión se obtiene  $n$ , número de renovaciones de aire por hora.

Para obtener las condiciones de confort térmico en cada vivienda, se calcula el porcentaje de personas que están insatisfechas con las condiciones térmicas (PPD) y el voto medio previsto (PMV) con respecto a si las personas votarían tener calor o frío según la norma UNE 7730 [16]. Estos valores se obtienen a partir de inputs como la temperatura y las vestimentas de los ocupantes.

Se realiza un balance de energía en régimen estacionario para cada vivienda mediante las siguientes expresiones [17]:

$$\frac{dE_{almac}}{dt} = \dot{E}_{aire} + \dot{E}_{cerramiento} + \dot{E}_{gener} + E_{solar} \quad (2)$$

Siendo:

$E_{aire}$  [W], energía relativa a la renovación de aire, esta se calcula utilizando el valor de renovaciones por hora de aire obtenido mediante la expresión 3 [16].

$$E_{aire} = 0,34 \cdot V_i \quad (3)$$

Con  $V_i$  [m<sup>3</sup>] equivalente al caudal de renovación de aire obtenido mediante la expresión (1).

$E_{solar}$  es la energía por radiación que penetra a través de las superficies acristaladas:

$$E_{solar} = A \cdot R_{incidente} \cdot SHCG \quad (4)$$



Siendo  $A$  [ $m^2$ ] el área de la superficie acristalada,  $R_{incidente}$  [ $W/m^2$ ] la radiación incidente y SHCG el coeficiente adimensional “Solar heat gain coefficient”.

$E_{cerramiento}$  se ha calculado en función de las características constructivas de cada caso siguiendo el Código Técnico de la Edificación.

$$E_{generado} = E_{dispositivos} + E_{personas} \quad (5)$$

Siendo  $E_{dispositivos}$  la energía que aportan los dispositivos cuando están encendidos. Valor recogido para cada caso mediante muestra del consumo. Mientras que  $E_{personas}$  tiene la siguiente expresión:

$$E_{personas} = 0,202 \cdot p^{0.425} \cdot a^{0.725} \cdot n \cdot TM \quad (6)$$

Donde  $p$  es el peso medio de los ocupantes,  $a$  la altura media de los ocupantes,  $n$  el número de ocupantes y  $TM$  la tasa metabólica [18].

Se analiza el balance de energía durante todo el año en cada vivienda y, con los resultados, se evalúa el tiempo y la energía necesaria para mantener el confort térmico con la calidad de aire adecuada [19].

En función de los resultados obtenidos en cada vivienda, se realizan de nuevo los todos los cálculos considerando las posibles mejoras factibles desde un punto de vista térmico y económico. Se evalúa el ahorro energético que ha supuesto la mejora y se presenta la propuesta correspondiente.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1. Calidad del aire

Los resultados experimentales obtenidos relativos a la calidad de aire se muestran en la Tabla 2.

### 4.2. Confort térmico

Los valores para evaluación del confort térmico, así como el resultado de la misma, se observan en la Tabla 3.

### 4.3. Balance energético en la vivienda A

Realizando el balance de energía durante todo el año en régimen estacionario y considerando una calidad de aire adecuada (según la normativa vigente, la renovación horaria

Tabla 2.  
Resultados de la calidad del aire

Viv.	CO <sub>2</sub>	Clas.	N p.	N	Resultado.
A	965	IDA 3	0,3	0,5	Insuficiente
B	627	IDA 1	0,96	0,5	Óptimo
C	790	IDA 2	0,33	0,5	Insuficiente
D	961,8	IDA 3	0,3	0,5	Insuficiente

Leyenda: Viv. Vivienda; CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> promedio; Clas., clase de aire; N p., N promedio; N, norma.

Fuente: Los autores

Tabla 3.  
Resultados de confort térmico

Viv.	PPV	PPD	Rango T <sup>a</sup> confort	T <sup>a</sup> media real	Result.
A	-0,8	20,7	22±3°C	18°C	No hay confort térmico
B	-1,1	29,3	22±3°C	16,7°C	No hay confort térmico
C	-1,8	65,9	22±3°C	14,2°C	No hay confort térmico
D	-0,5	10,5	22±3°C	18,2°C	No hay confort térmico

Fuente: Los autores

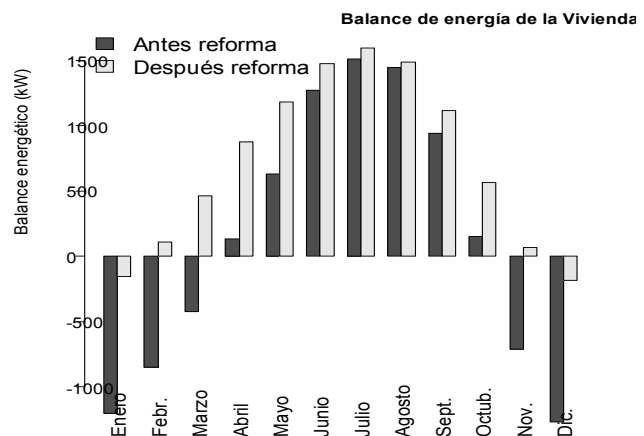


Figura 5. Balance energético antes y después de la reforma de la en la vivienda A

Fuente: Los autores

es de 0,5); se observa que, en lo tocante a la energía necesaria para mantener el confort térmico, el cambio actual a ventanas dobles (doble acristalamiento) supuso un ahorro anual de 4106 kW con respecto a la situación previa a la reforma, con ventanas simples.

En la Fig. 5 se observan los consumos energéticos mensuales estimados antes y después de la reforma de la vivienda A. Se observa un ahorro más que considerable en calefacción durante los meses de invierno, primavera y otoño, mientras que el balance energético es similar en verano. Mediante la aplicación del método propuesto se demuestra su utilidad para evaluar el efecto en el ahorro energético de acciones de rehabilitación ya efectuadas, permitiendo llevar a cabo la evaluación del trabajo realizado.

### 4.4. Balance energético en la vivienda B

Realizando el balance de energía en régimen estacionario durante todo el año y manteniendo la calidad de aire de 0,5 renovaciones por hora, se deduce que para mantener el confort térmico tanto en la situación actual

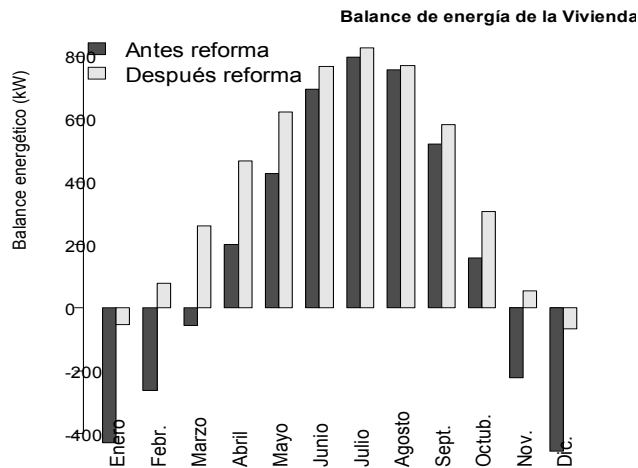


Figura 6. Balance energético en la vivienda B.  
Fuente: Los autores

como en la suposición de cambio de ventanas de simples a dobles. El ahorro anual de calefacción sería de 1302.4 kW. En la Fig. 6 se observa una mucho menor pérdida de energía en todos los meses del año, especialmente en otoño invierno y primavera, mientras que el balance de energía en verano es muy similar antes y después de la reforma.

#### 4.5. Balance energético en la vivienda C

A partir del balance anual de energía en régimen estacionario, se obtiene que la calidad de aire cumple con la normativa vigente de 0,5 renovaciones por hora. Para mantener el confort térmico hay que aportar calefacción desde mediados de noviembre a mediados de marzo (ver Fig. 7). Considerando una inserción de aislante térmico en la cámara de aire del cerramiento; se produciría un ahorro anual energético en calefacción de 12 kW. Los balances de energía antes y después de la inclusión del aislante se han calculado utilizando la metodología propuesta. En este caso se demuestra la utilidad del método para predecir el efecto (ahorro energético) de acciones de rehabilitación futuras.

#### 4.6. Balance energético en la vivienda D

Como se ha visto, a pesar de estar construida de acuerdo con las nuevas normativas, la vivienda D es una vivienda con un número de renovaciones de aire por hora insuficientes y, además, no cumple con las condiciones de confort térmico. Esto se debe principalmente a la transmisión de calor a través de los cerramientos. Esta suposición se ve corroborada mediante el estudio de la termografía exterior de la fachada (Fig. 8). De hecho se observa que la temperatura del cerramiento es excesivamente baja (obsérvese el código de colores).

A partir del balance anual de energía en régimen estacionario, se obtiene que para mantener el confort térmico hay que aportar calefacción desde mediados de noviembre a mediados de febrero. Si se coloca un aislante

en el cerramiento interior, disminuyen las necesidades anuales de calefacción en 243 kW (ver Fig. 9).

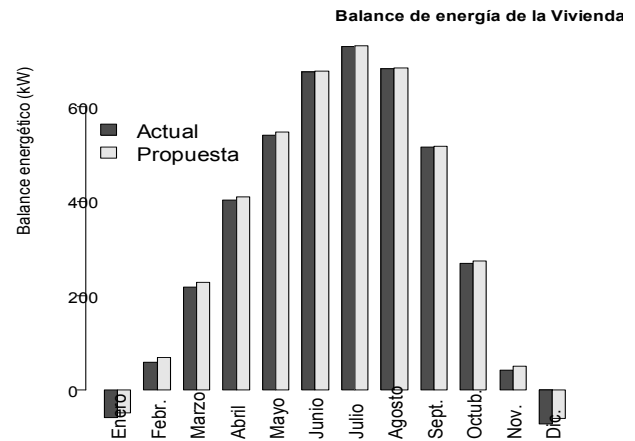


Figura 7. Balance energético en la vivienda C  
Fuente: Los autores



Figura 8. Termografía exterior de la fachada, vivienda D  
Fuente: Los autores

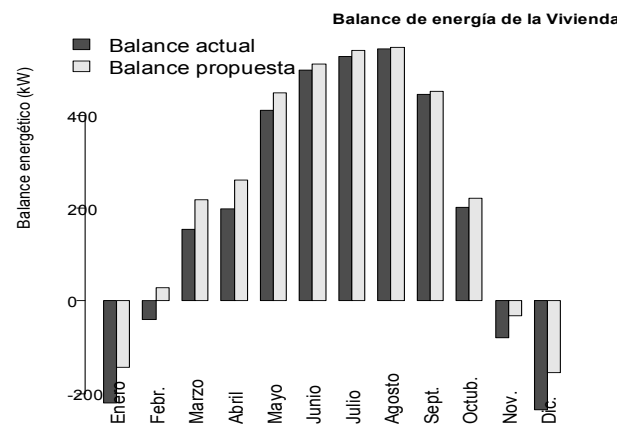


Figura 9. Balance de energía. Vivienda D  
Fuente: Los autores

## 5. Conclusiones

En este estudio se ha propuesto una nueva metodología para el cálculo de la eficiencia energética y calidad del aire de los edificios de carácter no industrial. El método descrito representa una alternativa rápida y eficaz para la planificación de proyectos de rehabilitación de la eficiencia energética, con la particularidad de estar basada en la toma de datos reales en puntos estratégicos del propio edificio.

Mediante la aplicación de la metodología propuesta, se han evaluado los efectos de las reformas realizadas sobre la eficiencia energética y calidad del aire de las viviendas objeto de estudio. Las conclusiones obtenidas muestran la necesidad de tener en cuenta más variables en la construcción de los edificios (como de hecho se consideran en el análisis propuesto) para conseguir una óptima habitabilidad, de acuerdo con las normas vigentes:

1. Los edificios construidos antes de la primera crisis energética son menos herméticos y gozan de una buena calidad de aire, con independencia del comportamiento de sus ocupantes, sin embargo no alcanzan el confort térmico.
2. Los edificios construidos bajo la normativa actual, en la cual se incluyen medidas de eficiencia energética, son más herméticos, no consiguen un confort térmico satisfactorio y tampoco alcanzan la calidad de aire reglamentada.
3. Los modelos matemáticos de modelización energética resultan una herramienta muy útil para comparar los ahorros energéticos y, por lo tanto, de los futuros costes de mantenimiento en cada opción de rehabilitación.
4. Para una rehabilitación eficaz de la eficiencia energética de los edificios, la mejora del aislamiento térmico en las zonas acristaladas es fundamental pues es la acción con mayor repercusión en el resultado final.
5. Se ha demostrado la utilidad de la puesta en práctica de estudios de rehabilitación energética para conseguir la mejora en la habitabilidad de los edificios y el hoy en día más que necesaria disminución en el consumo energético de los hogares.

## Agradecimientos

Este estudio ha sido realizado, en parte, con la financiación aportada por el proyecto MTM2011-22392 (fondos FEDER incluidos).

## Referencias

- [1] IEA., Energy Conservation in buildings and community systems. ECBCS Annual Report 2009 AECOM House. St Albans, Hertfordshire: U.K. International Energy Agency, 2009.
- [2] Greening, L. A., Greene, D. L. and Difiglio, C., Energy efficiency and consumption -the rebound effect- a survey, Energy Policy, 28, pp. 389-401, 2000.
- [3] Crosbie, T. and Baker, K., Energy-efficiency interventions in housing: learning from the inhabitants, Building research & information, 38, pp. 70-79, 2010.
- [4] ES CE., Directiva 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios, del 16 de diciembre del 2002. DO L 1 de 4.1.2003. Madrid: ES, 2003.

- [5] IDEA, Instituto para la diversificación y ahorro de energía. Available: <http://www.idae.es/> [2011]
- [6] Castrillón, R. del P., González, A. J. y Quispe, E.C., Mejoramiento de la eficiencia energética en la industria del cemento por proceso húmedo a través de la implementación del sistema de gestión integral de la energía, DYNA, 80 (177), pp. 115-123, 2013.
- [7] Zhai, Z. and Metzger, I. D., Taguchi-Method-Based CFD study and optimisation of personalised ventilation systems, Indoor and Built Environment 21, pp. 690-702, 2012.
- [8] Jun, L., Chundie, L., Chuck, Y., Ming J. and Shaowei D., Regression analysis of the relationship between urban heat island effect and urban canopy characteristics in a mountainous city, Chongqing. Indoor and Built Environment, 21 (6), pp. 821-836, 2012.
- [9] ES. Ministerio de la Vivienda de España, Normas MV, 1957
- [10] ES. Ministerio de la Vivienda de España, RD 1650/1977 Normativa de Edificación, 1977
- [11] ES. Ministerio de la Presidencia, CTE. Real Decreto 1371/2007 y posteriores modificaciones. Madrid: ES. Código Técnico de la Edificación, 2007.
- [12] F-Chart Software. EES, Engineering Equation Solver, for Microsoft Windows Operating Systems, 2003.
- [13] US ACCA. Manual J residencial load calculations, 8th Edition. Arlington, VA: US. Air Conditioning Contractors of America, 2003.
- [14] ES Ministerio de la Presidencia, RITE. Real Decreto 1027/2007 de 2007 de julio. Madrid: ES. Reglamento de Instalaciones térmicas en los edificios, 2007.
- [15] OMS, Air Quality Guidelines for Europe. European Series, 23, 426. Publicaciones Regionales de la OMS. Copenhagen: DK. Organización Mundial de la Salud, 1987.
- [16] ES. UNE-EN ISO 7730, Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local. Madrid: ES. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), 2006.
- [17] US ASHRAE. ASHRAE handbook fundamentals. Atlanta, Georgia: US. American Society of heating refrigerating and air-conditioning engineers, 2009.
- [18] ES. UNE-ES 12831, Sistema de calefacción en edificios. Método para el cálculo de la carga térmica de diseño, 2003.
- [19] Clarke, J. A., Energy simulation in building design. 2<sup>nd</sup> Edition. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2001.

**S. Zaragoza-Fernández**, Dra. en Ing. Industrial – en el campo de la eficiencia energética – por la Universidad de A Coruña, en la que ejerce como profesora en el área de ingeniería nuclear y Directora del AULA INSTITUCIONAL REPSOL -UDC. Autora de una patente de invención (P4342/2011) sobre el sistema y método de monitorización y simulación energética de edificios y coautora de un software (03/2011/843) para la optimización de la eficiencia energética en la rehabilitación residencial. Coautora y autora de diversas publicaciones en el ámbito de la energía. Así mismo realizó una estancia de investigación en la Unidad de Ahorro Energético de la Universidad Tecnológica de Panamá. Colaboró con varios trabajos con la Agencia Internacional de la Energía, IEA Energy Conservation in buildings & community systems, en la elaboración del Anexo 55: Reability of energy efficient building retrofitting-probability assesment of performance & cost. Participó en un total de 15 proyectos de investigación con financiación pública y privada en el ámbito energético, siendo Investigador Principal en tres de ellos.

**J. Tarrío-Saavedra**, Dr., profesor en la Universidad de A Coruña donde imparte materias relacionadas con la estadística, el control estadístico de calidad y la fatiga termomecánica. Cuenta con la titulación en Ingeniería Industrial y con el Doctorado en Estadística e Investigación Operativa por



la UDC. Sus actividades como investigador se centran en la aplicación de técnicas estadísticas para la caracterización térmica y reológica de materiales complejos y combustibles, aprendizaje estadístico, aprendizaje máquina y bibliometría. Cuenta con diversas publicaciones en las áreas de estadística, ingeniería y ciencia de los materiales.

**S. Naya**, profesor de Estadística en la Universidad de A Coruña, contando con la acreditación de catedrático del área de Estadística e Investigación Operativa por la Agencia Nacional de Acreditación Nacional (ANECA). Como docente imparte clases en los grados de ingeniería industrial y naval en la Escuela Politécnica Superior de Ferrol y en diferentes másteres, como el máster interuniversitario de Técnicas Estadísticas o el doble máster internacional de la Universidad de A Coruña con la París Diderot en Materiales Complejos. Cuenta con varias publicaciones en estadística aplicada a la ingeniería y varios libros de divulgación sobre estadística. Es miembro electo del ISI (International Statistical Institute) y ha ocupado distintos cargos de gestión en la universidad. En la actualidad es el director de la Cátedra Jorge Juan, órgano que depende de la Universidad de A Coruña y del Ministerio de Defensa.

**J. López-Beceiro**, Dr. en Ing. Industrial por la Universidad de A Coruña. Desde el año 2008 ejerce como profesor de esta misma Universidad en el

área de Ciencias de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica. Ha publicado numerosos artículos relacionados con el estudio de las propiedades térmicas y reológicas de los materiales. En 2012 ha realizado una estancia de investigación en el laboratorio CAMCOR de la Universidad de Oregón.

**A. Álvarez-García**, profesora de la Universidad de A Coruña y Dra Europea por la misma Universidad en el campo de la eficiencia energética. MSc. en Ing. Matemática y MSc. en Administración Marítima y Gestión Portuaria. Trabajó en el Sector Naval durante diez años desarrollando labores de coordinación entre el Astillero y el Armador, así como desarrollo de Ingeniería básica, de detalle y modelado 3D de la estructura. Coautor de varios artículos de investigación sobre temas de simulación numérica, energía, ingeniería naval y ciencia de materiales, además de varias ponencias en congresos de ámbito nacional e internacional en dichas áreas. Ha colaborado en diversos proyectos de investigación. En el año 2013 ha sido galardonada con el premio de investigación González Llanos por un trabajo sobre la reducción del consumo de combustible en buques de crucero mediante la implementación de un nuevo colector solar. Desde el año 2012 hasta la actualidad es la Directora del Servicio de Asesoramiento y Promoción del Estudiante de la Universidad de A Coruña en el campus de Ferrol.