

# Eficiencia energética en la rehabilitación de edificios

Ivan Capdevila  
Elisa Linares  
Ramon Folch

Energía y medio  
ambiente

25



Consejo Superior  
de los Colegios de Arquitectos  
de España

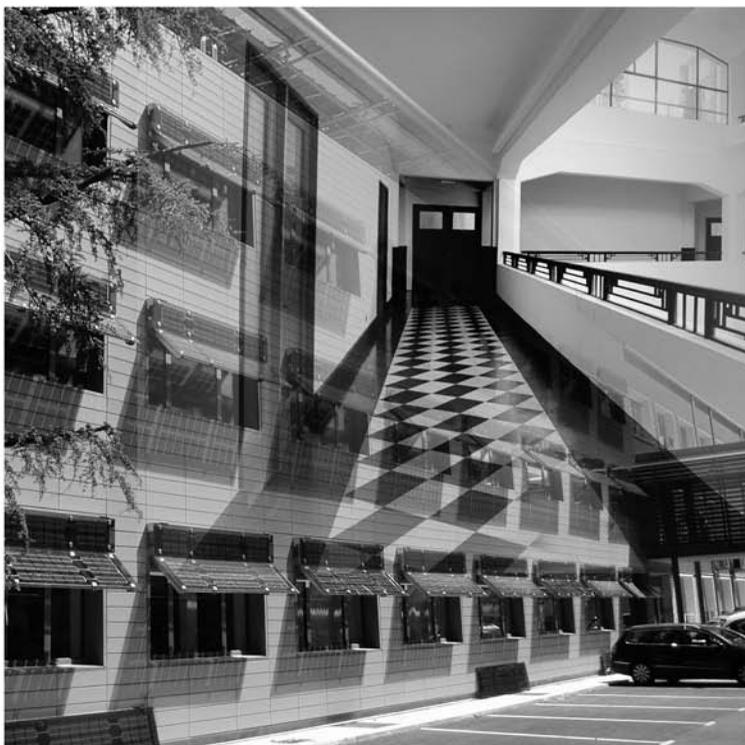
fundación  
gasNatural  
fenosa 

# Eficiencia energética en la rehabilitación de edificios

Ivan Capdevila  
Elisa Linares  
Ramon Folch

Energía y medio  
ambiente

25



## Guías técnicas de energía y medio ambiente

---

25. Eficiencia energética en la rehabilitación de edificios

### **Autores**

---

Ivan Capdevila, Elisa Linares & Ramon Folch

*ERF – Estudi Ramon Folch i Associats S.L.*

### **Con la colaboración de:**

---

Helena Berlanga & Aldo Pazó

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente, por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquier otro, sin la autorización por escrito de la Fundación Gas Natural Fenosa.

### **Edita**

---

#### **Fundación Gas Natural Fenosa**

Plaça del Gas, 8

08201 Sabadell (Barcelona)

Teléfono: 93 402 59 00 Fax: 93 745 03 20

[www.fundaciongasnaturalfenosa.org](http://www.fundaciongasnaturalfenosa.org)

1ª. edición, 2012

ISBN: 978-84-616-1379-3

Depósito legal: B30347 2012

Impreso en España

La Fundación Gas Natural Fenosa creó un grupo de expertos ad hoc, al objeto de acompañar el trabajo de los autores, que se reunió en cuatro sesiones de trabajo. Las sesiones permitieron identificar actuaciones prioritarias, detectar plausibles dificultades de implementación y recopilar propuestas, así para validar la metodología del trabajo y precisar el orden de magnitud de los resultados. Este grupo de expertos estuvo integrado por:

- **Jordi Ludevid**, presidente del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España.
- **Rocío Fernández**, directora general de EnergyLab.
- **Gloria Gómez**, Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España.
- **Jordi Bolea**, director de Relaciones Institucionales, Salud, Seguridad y Medioambiente, Rockwool Peninsular SAU.
- **Ramón Silva**, responsable de Innovación y Mercados de Servicios Energéticos, Gas Natural Fenosa.
- **Jordi Oter**, Gas Natural Servicios SDG, S.A.
- **Vicente Estival, Isabel Rodríguez y Enrique García**, Gas Natural Distribución SDG, S.A.
- **Manuel Ludevid**, asesor ejecutivo, Fundación Gas Natural Fenosa.

Asimismo, los autores mantuvieron entrevistas personalizadas con algunos de los miembros del grupo de expertos y con las personas siguientes:

- **Javier Serra**, subdirector general de Innovación y Calidad de la Edificación, y **Luis Vega**, Consejero técnico de Arquitectura y Sostenibilidad, del Ministerio de Fomento.
- **Elisabet Viladomiu**, directora de Área, Institut Cerdà.



# Índice

<b>Prólogo</b> de Pedro-A. Fábregas.....	7
<b>Resumen ejecutivo</b> .....	11
<b>1. Introducción</b> .....	17
1.1. La relevancia energética y ambiental del parque inmobiliario construido.....	18
1.2. La rehabilitación energética, clave para la rehabilitación integral.....	19
1.2.1. Las políticas europeas.....	20
1.2.2. El coste económico del consumo energético.....	22
1.2.3. La generación de empleo.....	23
1.3. Agentes clave.....	25
1.3.1. Usuarios.....	26
1.3.2. Profesionales cualificados.....	27
1.3.3. Empresas de rehabilitación y de servicios energéticos.....	28
1.3.4. Administradores de fincas.....	29
1.4. Marco normativo.....	29
1.4.1. Marco normativo y fiscal de la rehabilitación.....	30
1.4.2. Marco normativo de la eficiencia energética en los edificios.....	31
<b>2. Metodología</b> .....	35
2.1. Planteamiento general.....	35
2.2. Ahorro económico de la rehabilitación energética.....	36
2.2.1. Curvas de costes marginales de eficiencia energética.....	36
2.2.2. Limitaciones metodológicas.....	38
2.3. Edificios base representativos.....	39
2.3.1. Ciudades.....	39
2.3.2. Tipologías edificatorias.....	41
2.4. Cálculos de aplicación de las medidas.....	45
2.4.1. Ahorro, coste y periodo de retorno.....	45
2.4.2. Energía final versus energía primaria.....	46
2.5. Extrapolación al parque de edificios rehabilitable.....	47
<b>3. Criterios clave para una rehabilitación de calidad</b> .....	49
3.1. Integración de la arquitectura y la ingeniería.....	49
3.2. Durabilidad como criterio de diseño.....	51
3.3. Recepción de instalaciones.....	51
3.4. Control y medición de consumos.....	54
3.5. Inspección y mantenimiento.....	55

<b>4. Catálogo de medidas de eficiencia energética</b> .....	57
4.1. Actuaciones contemplables.....	57
4.1.1. Factores de consumo de un edificio.....	57
4.1.2. Medidas aplicables en oficinas.....	59
4.1.3. Medidas aplicables en viviendas.....	60
4.1.4. Medidas aplicables en hoteles.....	61
4.2. Medias arquitectónicas pasivas.....	63
4.3. Medidas sobre sistemas energéticos activos.....	77
4.4. Medidas de gestión y uso.....	115
<b>5. Balance energético y económico de las medidas de eficiencia</b> .....	123
5.1. Oficinas.....	123
5.1.1. Ahorros energéticos .....	123
5.1.2. Costes.....	126
5.1.3. Periodos de retorno de la inversión.....	127
5.2. Viviendas.....	128
5.2.1. Ahorros energéticos.....	128
5.2.2. Costes.....	131
5.2.3. Periodos de retorno de la inversión.....	132
5.3. Hoteles.....	134
5.3.1. Ahorros energéticos.....	134
5.3.2. Costes.....	137
5.3.3. Periodos de retorno de la inversión.....	138
5.4. Conclusiones.....	139
<b>6. Potencial de eficiencia energética de la rehabilitación en España</b> .....	143
6.1. Oficinas.....	147
6.2. Viviendas.....	149
6.3. Hoteles.....	151
6.4. Conclusiones.....	153
<b>Anexo I. Detalles de los edificios base representativos</b> .....	157
<b>Anexo II. Detalles de cálculos y premisas de partida</b> .....	165
<b>Anexo III. Documentación y bibliografía</b> .....	175

## Prólogo

En España, el sector de la construcción está en una situación compleja debido, entre otras causas, a la sobreactividad de los años del “boom de la edificación”, y también a las dificultades de la situación económica en que vivimos. Debe recordarse, sin embargo, que en los mejores momentos llegaron a construirse del orden de 900.000 viviendas nuevas cada año en el país.

Este entorno impacta negativamente en el sector de la construcción, pero también en el trabajo de los profesionales relacionados con el sector, principalmente arquitectos, arquitectos técnicos y aparejadores.

Por otra parte, la política de mejora de la eficiencia energética emanada de la Unión Europea, tiene también sus efectos en un país en que la intensidad energética de la economía, es decir, las necesidades de energía para producir una unidad de PIB son más altas que la media europea, alejándonos de los mejores escenarios de la competitividad.

La Agencia Internacional de la Energía, en un análisis realizado en 2009, indicaba que para conseguir que la temperatura del planeta no subiese más allá de los 2 °C, umbral a partir del cual la situación podría quizás ser irreversible porque se superaría la concentración límite de 450 ppm de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, se tenían que hacer muchas cosas, pero que de las medidas a tomar e inversiones a realizar, una parte muy importante, evaluada en un 60% del total, debía destinarse a mejorar la eficiencia en el uso final de la energía, auténtico factor clave de las actuaciones futuras.

Desde la perspectiva de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y del Protocolo de Kioto es evidente que se han tomado medidas con los grandes emisores, pero también es evidente que, en lo relacionado con los pequeños emisores, que estarían en la categoría de lo que Kioto denomina «sectores difusos», con millones

de decisores, es más complejo decidir, implantar y asegurar que las medidas se llevan a término en los tiempos adecuados y con la necesaria eficacia, y no debe olvidarse que estos sectores difusos generan más del cincuenta por ciento de las emisiones, y básicamente corresponden al ámbito de los ciudadanos: edificios y transporte.

En España, sin embargo, con un importante parque de edificios de una cierta antigüedad y unos principios de diseño antiguos y poco sostenibles, sí que existen unas importantes posibilidades de trabajo en la rehabilitación de edificios, actividad que se estima puede alcanzar actuaciones sobre unos 450.000 edificios al año.

Vista en perspectiva, la rehabilitación de edificios parece una gran oportunidad, por una parte aseguraría una importante carga de trabajo a los arquitectos y otros profesionales del sector, dando lugar a una actividad económica generadora de empleo, ayudando a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, y, bien planteada, podría ayudar a reducir los consumos energéticos de los edificios, aportando una mejora evidente de la eficiencia energética, así como una reducción de las facturas de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Actuaciones en rehabilitación que ayuden a mejorar la eficiencia energética de los edificios hay de muchos tipos, podemos estudiar la envolvente, y serán las medidas más arquitectónicas; o podemos analizar las instalaciones energéticas y serán las medidas más de máquinas y equipamientos; finalmente, podemos poner el énfasis en cómo gestionamos la energía, y entraremos en el terreno de encontrar expertos y sistemas de gestión que nos optimicen las acciones e inversiones puestas en marcha.

Por otra parte, las medidas pueden requerir inversiones distintas y ser más o menos eficaces en función de la zona climática en que esté situado el edificio o de su uso como vivienda, oficinas, hotel, etc.

Finalmente, es evidente, que habrá medidas en casos concretos que, con menos inversión, conseguirán más resultados de mejora de la eficiencia energética, es decir, medidas más rentables o con periodos de recuperación más rápidos, y medidas que serán justo lo contrario.

En algunos casos inclusive puede llegar a financiarse la inversión con los ahorros en el consumo energético realizados, mejorando la competitividad de determinados sectores.

El objetivo de este libro es aportar elementos concretos de una forma ordenada para permitir evaluar sobre situaciones tipo qué medidas son las más eficientes, o en otros términos, qué podemos esperar de cada medida, resultado esperado versus la inversión necesaria que requiera cada proyecto.

Para el desarrollo de este trabajo, hemos tenido la suerte de disponer de un reconocido equipo de expertos del Estudi Ramon Folch i Associats, constituido por Ivan Capdevila, Elisa Linares y el propio Ramon Folch, que han desarrollado el trabajo, con las dificultades evidentes de tener como objetivo la formación de un texto concreto que permitiese la tabulación de oportunidades, costes y resultados para las medidas más evidentes que se pueden aplicar al amplio abanico de posibilidades de la rehabilitación de edificios.

En el trabajo ha colaborado con enorme interés el Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España, a cuyo presidente, Jordi Ludevid, y a los expertos involucrados en el proyecto debemos agradecer las reflexiones, análisis y planteamientos realizados. También han participado expertos de Rockwool y de Gas Natural Fenosa, en los datos, revisiones y discusiones realizadas.

Los equipos de trabajo han funcionado perfectamente con un gran énfasis en la colaboración y la participación constructiva para obtener una obra que pueda servir de ayuda y soporte a la actividad de la rehabilitación de edificios en España, desde situaciones próximas, prácticas y adecuadas. El esfuerzo ha sido importante en la tipificación y estandarización de edificios y situaciones concretas.

Los resultados indican que hay grandes oportunidades quizá con tiempos de recuperación de la inversión más rápidos en oficinas y hoteles, pero con una dimensión de mercado de rehabilitación mucho más importante en viviendas.

Desde hace tiempo, la Fundación ha puesto un importante énfasis en los trabajos de

investigación y en las publicaciones relacionadas con la eficiencia energética, aspecto realmente troncal del desarrollo energético del futuro. En los últimos años, en las colecciones de la Fundación, se han publicado en este ámbito los siguientes títulos:

- Guía de la eficiencia energética en edificios para Administradores de Fincas
- El consumo de energía y el medio ambiente en la vivienda en España
- Casos prácticos de eficiencia energética en España

Esperamos que la publicación de este libro permita avanzar en el conocimiento de una actividad como la rehabilitación que puede mejorar la posición energética y de emisiones de gases de efecto invernadero de España, aparte de ayudar a reconstruir unas bases de actividad para el sector de la construcción y los sectores profesionales involucrados, a la par que puede impulsar la creación de empleo y estimular la economía productiva en unos momentos de elevada complejidad.

Pedro-A. Fábregas  
Director General  
Fundación Gas Natural Fenosa

## Resumen ejecutivo

El 27,7% del consumo de energía final de España se produce en edificios de viviendas y servicios. Ante este elevado consumo, se ha puesto mucha atención sobre los edificios nuevos: edificios de consumo cero (o consumo de red cero, para ser exactos), certificación energética y ambiental LEED, BREEAM o VERDE para nueva construcción, etc. Sin embargo, en España, el parque construido de viviendas y de oficinas está sobredimensionado debido al *boom* inmobiliario de la primera década del 2000, de manera que los edificios nuevos construidos a partir de ahora representarán solo entre el 4 y el 10% de los edificios que se prevé van a existir en 2050. Y, como veremos más adelante, el uso de la energía en el parque construido es ineficiente y se puede reducir en un 20-40%, dependiendo del clima, la clase de edificio, el estado y el uso. El gran reto para acotar el consumo energético y las emisiones asociadas es, pues, la rehabilitación energética de los edificios construidos, efectuada de modo integral y eficiente.

Este informe parte de la base que muchas medidas de eficiencia energética en la rehabilitación de edificios disminuyen el impacto ambiental y mejoran el confort térmico y acústico, pero también son económicamente autofinanciables a corto o medio plazo. Es decir: la inversión se compensa con el ahorro en el consumo de electricidad o gas natural con el paso del tiempo. En este trabajo se analiza en detalle 27 medidas de eficiencia energética en la rehabilitación de edificios, su nivel de autofinanciación y su repercusión en la dinamización económica de los sectores de la construcción y de los servicios energéticos.

A partir de una aproximación analítica detallada a las medidas de eficiencia energética que se deben adoptar, se ofrece información y conocimiento para la toma de decisiones a los actores con poder de decisión, tanto a nivel público como privado. El método observado en su preparación se ajusta a los siguientes objetivos:

- Identificar un conjunto de medidas de rehabilitación eficiente en tres tipos de uso edificatorio diferente: viviendas, oficinas y hoteles.
- Definir el contexto y las condiciones de aplicación de las medidas en los edificios en función de casos prácticos reales.
- Establecer unos parámetros de sostenibilidad cuantificables y comparables,

básicamente dos: kWh/m<sup>2</sup>·año de consumo energético final, y €/m<sup>2</sup> de inversión.

- Cuantificar el coste-beneficio que tiene su aplicación en un edificio base o estándar, representativo del edificio medio español de cada uso.
- En el caso de las viviendas y las oficinas, analizar el impacto de las medidas en el citado edificio medio en cuatro ciudades distintas, representativas de las diferentes zonas climáticas españolas: Barcelona, Madrid, Sevilla y Burgos.
- Determinar el potencial de ahorro energético y económico del país y las medidas más interesantes a potenciar, a partir de la extrapolación sobre el parque de edificios de España potencialmente rehabilitable en el periodo 2013–2032.

### *Crterios clave para una rehabilitación de calidad*

La rehabilitación energética de un edificio no se puede entender como una actividad desligada de su posterior uso cotidiano. La rehabilitación, y no solo la energética, supone una actuación puntual en el tiempo, como lo fue en su momento la propia construcción. El edificio rehabilitado deberá ser mantenido y explotado de forma adecuada si quieren lograrse unos ahorros significativos a largo plazo.

Para garantizar una vida larga y eficiente del edificio es importante considerar los siguientes criterios clave en los proyectos de rehabilitación:

- Integración de la arquitectura y la ingeniería.
- Durabilidad como criterio de diseño.
- Recepción de instalaciones (*commissioning*).
- Control y medición de consumos (*smart metering*).
- Inspección y mantenimiento.

### *Catálogo de medidas de eficiencia energética*

Esta guía técnica presenta 27 fichas informativas sobre las medidas concretas de rehabilitación que más influyen en la mejora energética del edificio. Sin embargo, cada edificio es único en cuanto a su ubicación, su arquitectura, sus instalaciones y su uso. Aunque se definan y se presenten individualmente, su aplicación óptima requiere de una visión sistémica que las integre ad hoc en cada edificio concreto, cosa que solo es posible si se consideran y abordan globalmente en un proyecto completo.

A continuación se listan las medidas de eficiencia energética contempladas en esta investigación.

Código	Medida	Tipo de medidas
1.1	Aislamiento de fachada	Arquitectónicas pasivas
1.2	Aislamiento de cubierta	
1.3	Mejora de huecos de fachada	
1.4	Protecciones solares pasivas	
1.5	Reducción de las infiltraciones de aire	
1.6	Aislamiento de tuberías	
2.1	Caldera de condensación / baja temperatura	Sistemas energéticos activos
2.2	Equipos de frío eficientes	
2.3	Caldera centralizada eficiente	
2.4	Reducción del caudal de duchas y grifos	
2.5	Variadores de frecuencia	
2.6	<i>Free-cooling</i> y ventilación nocturna	
2.7	Recuperador de calor de la ventilación	
2.8	Ventilación en función de la ocupación real	
2.9	Uso de energía solar térmica	
2.10	Cogeneración	
2.11	Bomba de calor a gas natural	
2.12	Uso de energía geotérmica	
2.13	Trigeneración	
2.14	Mejora de la eficiencia en iluminación	
2.15	Cambio de electrodomésticos	
2.16	Cambio de vitrocerámica por inducción	
2.17	Cambio de ordenadores de sobremesa a portátiles	
2.18	Manta térmica para piscinas climatizadas	
3.1	Sistema de gestión BMS ( <i>Building Management Systems</i> )	Gestión y uso
3.2	Adecuación de la temperatura de consigna	
3.3	Gestión de ordenadores	

**Tabla 1: Listado de medidas de eficiencia energética contempladas.**

### *Balance energético y económico de las medidas de eficiencia*

**Más de dos tercios de las medidas de eficiencia energética en hoteles y la mitad en oficinas son autofinanciables a 10 años vista:** el ahorro económico que se conseguirá es mayor que la inversión a llevar a cabo.

**En el caso de edificios de viviendas, el periodo medio de retorno de las medidas es más largo.** Únicamente una cuarta parte de las medidas analizadas es autofinanciable a 10 años.

**En todo tipo de edificios se pueden obtener ahorros significativos sin coste o a un coste muy limitado mediante medidas de gestión:** sistema BMS, adecuación de la temperatura y gestión de ordenadores.

**En hoteles y en oficinas, las medidas energéticas activas –asociadas a la renovación de instalaciones energéticas– en general presentan periodos de retorno más cortos que las medidas energéticas pasivas.** Actuaciones como las mejoras de eficiencia en la iluminación, los variadores de frecuencia en bombas y ventiladores, el cambio de equipos de frío, los recuperadores de calor, el *free-cooling* y la ventilación nocturna presentan periodos de retorno cortos en todo tipo de edificios.

**Las medidas energéticas pasivas presentan periodos de retorno de alrededor de 10 años en oficinas y hoteles, y superiores en viviendas.** Las protecciones solares exteriores a fachada en climas cálidos asimilables a Sevilla presentan periodos inferiores.

Por otra parte, **la zona climática en que se sitúa el edificio juega un papel significativo a la hora de determinar las medidas prioritarias en los edificios de viviendas.** En el caso de oficinas y hoteles, que presentan usos más intensos y continuos, hay otros elementos relevantes relacionados directamente con el consumo, como la categoría del hotel y el sistema constructivo de la fachada.

### *Potencial de eficiencia energética de la rehabilitación en España*

El potencial de ahorro de energía final acumulado en el parque de edificios español en el horizonte 2032 con la implantación de las *medidas autoamortizables* a 10 años propuestas es de 125.900 GWh: 24.900 GWh en oficinas, 94.100 GWh en viviendas, y 6.900 GWh en hoteles.

Esto representa un ahorro anual del un 10,2% del consumo actual de oficinas, 6,6% del consumo de viviendas y un 22,1% del consumo de hoteles.

Estos datos parten de la base del parque rehabilitable en los 20 próximos años, definido previamente en un 30% del parque existente de viviendas, un 40% del parque de oficinas y un 40% del parque hotelero. Si se lograra actuar sobre una proporción más amplia del parque de edificios, o si el marco normativo y financiero público facilitase ir más allá que las medidas autoamortizables a 10 años, los ahorros para el sector energético y la economía española serían mayores.

En definitiva, un programa ambicioso de rehabilitación energética a 20 años vista supondría **desencadenar actividades productivas por valor de 3.770 millones de euros** (500 millones de euros en oficinas, 3.150 millones de euros en viviendas y 120 millones de euros en hoteles). Además de un significativo ahorro de consumo energético de 125.900 GWh totales, **cuya repercusión sobre la economía supondría un ahorro anual de 22.800 millones de euros en total.**

La inversión en la rehabilitación energética en los términos expresados supondría la **creación de 55.000 nuevos empleos en el sector de la construcción y los servicios energéticos.**

Por otra parte, la aplicación de las medidas sobre el parque de edificios rehabilitable representaría un ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero global a 20 años vista de 26,5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>eq.

Un análisis detallado de las conclusiones revela una paradoja importante: la mayoría de las medidas de rehabilitación energética son autofinanciables a 10 años vista en el caso de edificios de oficinas y hoteles, pero no en las viviendas, cuyo retorno de la inversión global es a más largo plazo. De esto se concluye **la prioridad estratégica inmediata de rehabilitar edificios de servicios para conseguir ahorros a corto plazo y mejorar la formación y cultura energética de mantenimiento y rehabilitación de las empresas y usuarios implicados.**

Sin embargo, **la superficie del parque de viviendas español es mucho mayor** que la del parque de edificios de servicios. Ello implica que, **a pesar de que su rentabilidad unitaria sea inferior, el ahorro global –energético y económico– que se puede conseguir es mucho mayor.** Por lo que parece sensato empezar a actuar también en

este parque, pero de forma progresiva: priorizando aquellas inversiones que producen un retorno a corto y medio plazo (inferior a 10 años). Se trata, por ejemplo, de la mejora en iluminación, la reducción de infiltraciones de aire, la reducción de caudal de duchas y grifos y la adecuación de la temperatura de consigna.