

# **DISEÑO EFICIENTE DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS: FACHADAS**

**Alonso Ruiz-Rivas, C. Oteiza San José, I. García Navarro, J.**

**<sup>1</sup>Universidad Politécnica de Madrid**

**Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción.**

**e-mail:carmenalonsorr@gmail.com**

## **RESÚMEN**

Se presentan la metodología y algunos resultados para el análisis de elementos constructivos de fachada de edificios de viviendas en España desde una perspectiva de ciclo de vida, teniendo en cuenta el impacto ambiental de los materiales que componen dicha fachada, y sus prestaciones en la fase de uso de las viviendas. Para ello se ha tomado un modelo de vivienda, y se han estudiado diferentes escenarios para la construcción de la fachada. Los resultados obtenidos proporcionan datos de referencia del comportamiento de estos sistemas en España, y permiten detectar las mejores estrategias para reducir el consumo energético en viviendas, en una amplia variedad de situaciones posibles, que se dan tanto en fachadas de nueva construcción como en la rehabilitación de fachadas existentes. Las categorías de impacto estudiadas son: consumo de combustibles fósiles y cambio climático y las estrategias de diseño están vinculadas a las zonas climáticas, la orientación, renovación del aire interior, materiales y composición de fachada. Tanto el enfoque como los resultados obtenidos suponen una aportación para la valoración ambiental de las estrategias de diseño en una fase inicial de proyecto.

Palabras clave: fachadas, impacto ambiental, ciclo de vida

## **1. Introducción:**

Actualmente el sector de la edificación tiene un gran potencial para la reducción de la dependencia energética y las emisiones de gases de efecto invernadero. A través del diseño y selección de componentes constructivos se pueden reducir las cargas ambientales e incrementar la eficacia en el ciclo de vida de los edificios. Para ello resulta fundamental incorporar criterios ambientales en fase de proyecto, teniendo en cuenta el origen, comportamiento en uso, y fin de vida de los sistemas constructivos.

Dentro de los criterios de sostenibilidad, y en particular de los criterios ambientales, destaca especialmente por su trayectoria y actual importancia estratégica la eficiencia en el comportamiento energético de los edificios, vinculado con los consumos energéticos y emisiones de gases de efecto invernadero. Dentro de este campo los componentes constructivos que conforman la envolvente de las viviendas, juegan un papel determinante, ya que además de gestionar los flujos energéticos entre el interior y el exterior de las viviendas, también tienen la capacidad de garantizar la calidad ambiental interior. Soluciones sencillas en el diseño de la envolvente pueden dar lugar a importantes mejoras en el comportamiento ambiental de las viviendas, reduciendo la dependencia energética. Es a través de la envolvente de la vivienda donde se produce el intercambio entre el ambiente interior y el exterior, y donde la iluminación, ventilación o flujo de calor son parámetros fundamentales para el diseño. Mejorando esta envolvente se puede reducir el impacto ambiental en el ciclo de vida de los edificios, garantizando la calidad ambiental interior.

## **2. Enfoque y Metodología:**

Existen múltiples herramientas, estudios y publicaciones relacionadas con la energía utilizada en la operación de los edificios, y también diversos estudios recientes que tratan la relación coste beneficio de estrategias para la el análisis de la eficiencia energética en edificación, en los que se plantea una inversión en términos económicos, frente a un beneficio tanto económico como en términos ambientales [1] [2] [3] [4] [5]. Sin embargo, la relación de impactos ambientales en las diferentes fases de ciclo de vida del edificio se ha tratado en menor medida, tanto a través del inventario y análisis de ciclo de vida, como de métodos simplificados, y por lo general, aplicados al estudio de casos particulares o elementos constructivos concretos [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12]. Estos estudios ofrecen resultados que permiten relacionar los impactos asociados a los materiales, con los impactos que se producen en la fase de uso del edificio, lo que aporta una base de análisis ambiental para las estrategias constructivas, como punto de partida para el estudio de la viabilidad económica.

Este estudio se plantea como reflexión y análisis de varias posibilidades de mejora de los componentes constructivos de las fachadas de edificios residenciales en España, con un enfoque coste/beneficio en términos medioambientales. Se trata por tanto de obtener algunos datos que permitan valorar los impactos en la fase de uso del edificio, y su relación con los impactos asociados a los materiales para estos componentes.

Este enfoque coste-beneficio, se ha representado en la figura (fig.1), donde aparecen esquematizados diferentes modelos de actuación en fachadas y las variaciones en impacto a lo largo del tiempo tanto para nueva construcción como para rehabilitación:

Para el caso de nueva construcción (líneas C y D en la figura), los componentes de fachada han sufrido diversas transformaciones antes de llegar a entrar en uso, por lo que contienen cantidades de energía, CO<sub>2</sub>eq y coste incorporados en los materiales. La utilización de estos materiales supone una inversión en términos ambientales que varía según la composición de fachada. Esta inversión se corresponde con las líneas verticales en la figura, ya que se producen puntualmente en el tiempo. Las prestaciones en uso, no sólo dependen de estos materiales, sino también de otros factores que afectan al comportamiento de estas fachadas, como son la orientación, el acceso solar, o la ventilación. Este comportamiento en uso es el que determina la pendiente de las rectas en la figura, reflejando el impacto acumulado en el tiempo, es decir una mayor pendiente supone un peor comportamiento en uso, ya que los incrementos anuales resultan mayores.

En el caso de la rehabilitación de edificios existentes (líneas A y B en la figura) ya se cuenta con una serie de componentes que ofrecen unas prestaciones, y por tanto con un comportamiento en uso (línea A). Las transformaciones para la mejora de estas prestaciones, como puede ser la adición, sustitución o reparación de componentes genera también una inversión de materiales en términos ambientales, que vendrá determinada por la capacidad de aprovechamiento de estos componentes existentes. Estas actuaciones suponen también un impacto puntual en el tiempo, y se presuponen dirigidas a la mejora de las prestaciones en uso, que quedan reflejadas en el cambio de tendencia (línea B).

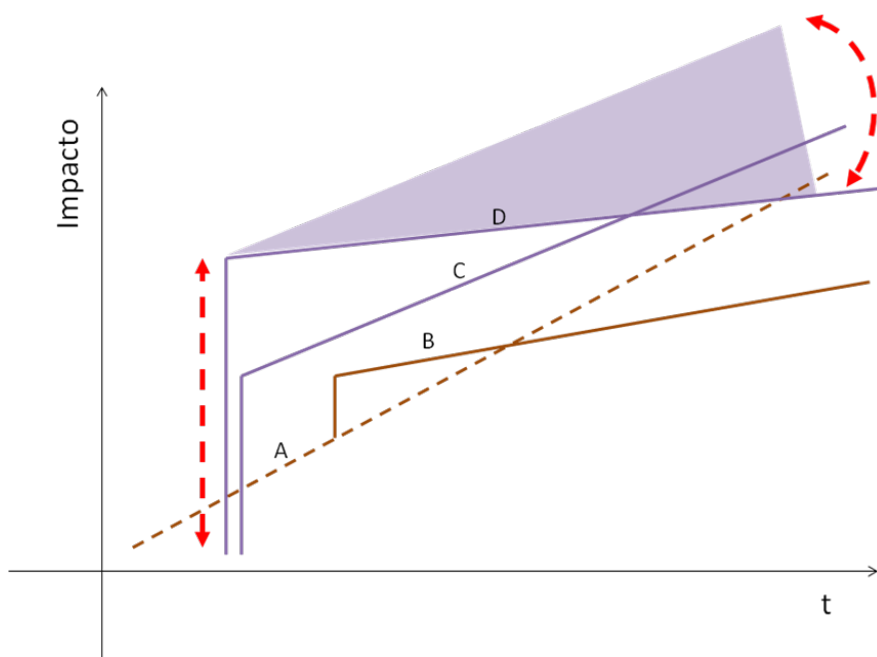


Fig. 1: Esquema de diferentes escenarios, y caracterización del ámbito de estudio.

Este artículo se centra en la relación entre los consumos en la fase de uso del edificio, en este caso los derivados del acondicionamiento térmico de las viviendas (calefacción y refrigeración) y los consumos de materiales para los componentes constructivos de fachada. Las categorías de impacto son consumo de combustibles

fósiles y cambio climático. Otras fases del ciclo de vida del edificio, como el transporte, mantenimiento o fin de vida, y otros consumos como el de iluminación (también vinculado estrechamente a la composición de fachada) o ACS de momento han quedado fuera del ámbito de estudio, así como otros impactos ambientales que compondrían un análisis completo de ciclo de vida.

Son múltiples los factores que intervienen en el diseño y comportamiento energético de fachadas (clima, orientación, tamaño y composición de huecos y muros, inercia y transmitancia térmicas, tecnología constructiva, soleamiento, ventilación, temperatura interior, iluminación, ruido,...) y complejas las relaciones entre ellos. En el actual estudio se han seleccionado una serie de variables para caracterizar los diferentes escenarios en la construcción de las fachadas. Estas variables son: situación, acceso solar, orientación de las fachadas, ventilación, y composición constructiva de la fachada. Dentro de este último, se han considerado tanto los componentes la parte opaca o muro, como los de la parte transparente o hueco, así como la proporción de cada uno de ellos en la fachada.

Para el cálculo de la demanda en la fase de uso se ha utilizado el programa LIDER [13] que calcula la demanda del edificio en las condiciones estándar establecidas en el CTE [14]. Para la obtención y tratamiento de datos se ha utilizado el programa Genede [15], actualmente en desarrollo, que permite procesar los resultados del programa de cálculo. En este cálculo no se ha considerado la aportación de energías renovables in situ, ni el rendimiento de los sistemas de acondicionamiento. La energía y emisiones incorporados en los materiales se toma a partir de datos proporcionados por el banco BEDEC [16].

Para acotar el estudio de la fachada a escala de elemento constructivo, se ha considerado un volumen tipo que responde a una vivienda pasante de un bloque plurifamiliar, en el que para el cálculo térmico, todas las superficies exceptuando las dos fachadas objeto de estudio, se consideran en contacto con espacios en idénticas condiciones de uso. Para poder comparar los valores asociados a los materiales con los de demanda de climatización, las unidades se dan por metro cuadrado útil de planta, considerando la mitad de la superficie para cada fachada; y por año, considerando un periodo de vida en uso medio de 50 años para los materiales.

### **3. Algunos resultados:**

Para cada una de las ciudades de referencia, combinando las diferentes variables se han obtenido 10.368 casos, sobre un total de 124.416 casos para el conjunto de las doce zonas climáticas. En este punto se van a exponer algunos resultados que muestran la línea del trabajo que se está llevando a cabo.

A medida que los consumos energéticos y las emisiones de gases de efecto invernadero disminuyen en la fase de uso, los impactos asociados a los materiales van cobrando importancia, de hecho para el caso de viviendas pasivas, hay algunos autores que estiman hasta un 50% de la energía incorporada en los materiales, dentro del ciclo de vida completo del edificio [17].

En las fachadas estudiadas, esta tendencia lógicamente se mantiene. Si se observa la siguiente figura (fig. 2), donde aparecen representadas diferentes resultados para

el caso de Madrid, se puede ver cómo a medida que disminuye la demanda energética en la fase de uso, la energía correspondiente a los materiales va en aumento. En esta figura se han representado nueve tipos de muro, con varias transmitancias e inercia térmica, que van definiendo las diferentes líneas. Todos los puntos representados para cada tipo de muro, se corresponden con diferentes combinaciones en el resto de variables (ventilación, orientación, soleamiento, tipo de hueco,...)

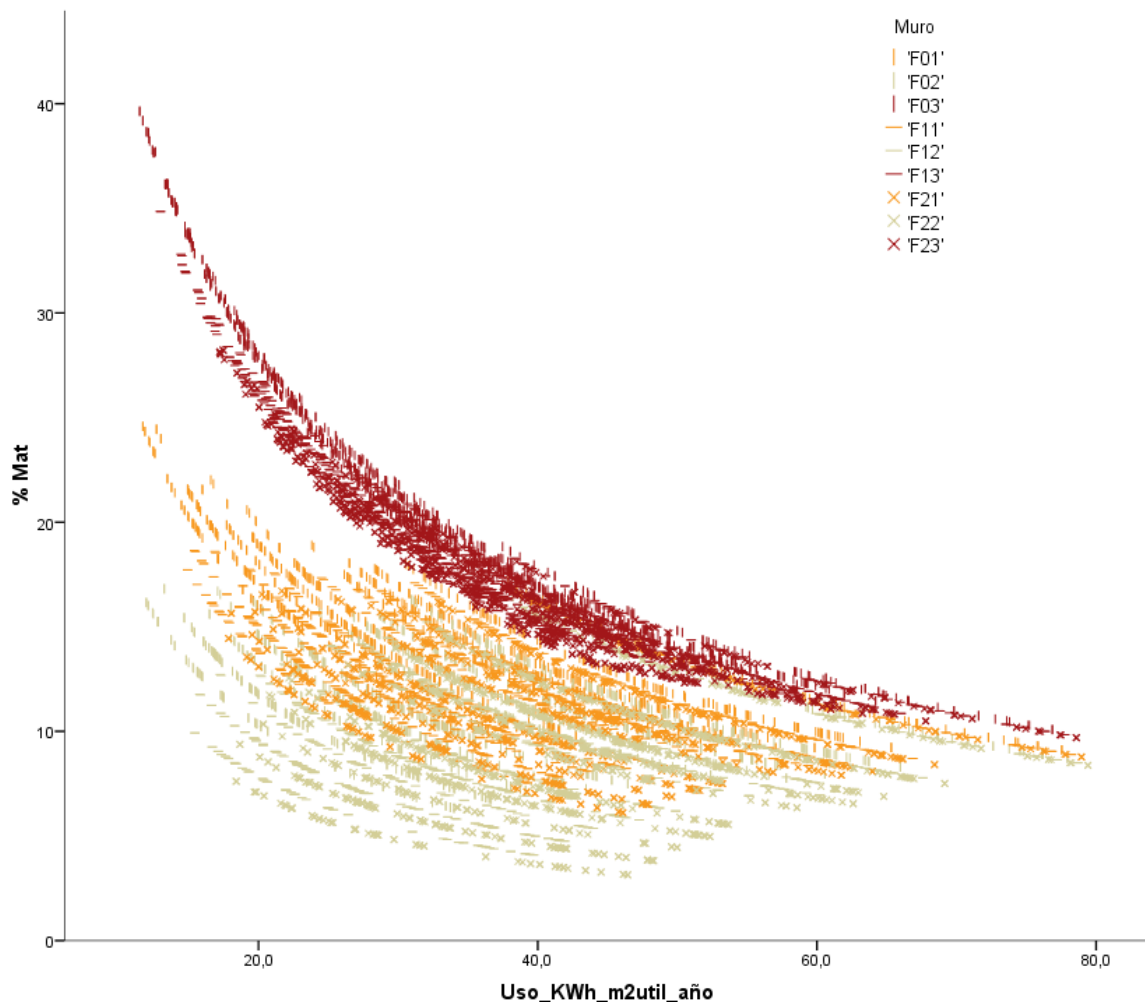


Fig. 2: Porcentaje de energía incorporada en los materiales de fachada (%) según la demanda de acondicionamiento en uso (KWh/m<sup>2</sup>y por metro cuadrado útil al año, para una vida de servicio media de 50 años) Madrid

Los cerramientos más masivos (Fx3) quedan situadas en la parte superior de la figura, ya que para estos tipos de muro, la cantidad de masa situada en el interior del cerramiento se corresponde con una mayor energía incorporada. En un escenario de rehabilitación energética con una mejora de la transmitancia, esta masa puede venir dada por el cerramiento existente, y la energía incorporada por tanto disminuiría. Por otro lado, las diferencias en la transmitancia suponen en general un desplazamiento en el eje horizontal, por lo que los cerramientos más aislantes (F0y) suponen una disminución en la demanda energética en uso.

En esta figura también se puede observar cómo para una demanda energética para acondicionamiento térmico dada, existen diversas soluciones posibles, y de igual

manera, para una misma composición de fachada, el comportamiento en uso varía atendiendo al resto de variables. Por tanto, para la disminución de estos impactos ambientales, la selección de variables juega un papel determinante.

Por último, los datos obtenidos en este estudio se han incluido en una herramienta de gestión de datos de elementos constructivos, que actualmente se encuentra en desarrollo, para la selección de estrategias eficientes en una fase inicial de diseño.

#### **4. Discusión/Conclusiones:**

Las inversiones iniciales de materiales en términos energéticos son muy grandes si se comparan con la energía demandada cada año, sin embargo, teniendo en cuenta que la vida útil de estas actuaciones se prolonga en el tiempo, resulta especialmente interesante considerar la repercusión energética anual, para lo cual es necesario establecer un periodo de vida útil. Este impacto ambiental en términos de inversión, va por tanto estrechamente vinculado al planteamiento de actuaciones que mantengan su efectividad a largo plazo.

La rehabilitación de edificios existentes ofrece una oportunidad única para el aprovechamiento de recursos. Como se ha visto, la producción de nuevos cerramientos exteriores supone un impacto ambiental importante que se puede minimizar aprovechando y mejorando los cerramientos existentes. Resulta necesario por tanto plantear el parque edificado como recurso para la disminución del impacto ambiental de la edificación.

Por otro lado, la repercusión de la energía incorporada en los materiales se puede reducir a través de la mejora en los procesos de producción de los productos de construcción, y la utilización, por parte de los diseñadores, de productos con bajo impacto ambiental.

Actualmente la repercusión de la energía incorporada en los materiales queda postergada a un segundo plano respecto a la energía demandada para el uso del edificio. Sin embargo, a medida que las soluciones constructivas mejoran y los cerramientos ofrecen mejores prestaciones, ésta va cobrando una presencia mayor. Teniendo en cuenta que se ha considerado la misma energía incorporada en los materiales para todas las zonas climáticas, en aquellas con características climáticas más moderadas la repercusión de los materiales resulta también mayor.

La utilización de estrategias “gratuitas” en términos energéticos, permite partir de una base mejorada, para la eliminación del impacto ambiental de la edificación. Por ejemplo, un mismo módulo, con diferentes orientaciones requiere cantidades de energía para acondicionamiento muy dispares. Si se establecen unas bases de proyecto adecuadas, se puede optar por soluciones constructivas sencillas.

**Agradecimientos:** Este estudio se enmarca dentro del proyecto AS51-08- Estudio especial relacionado con las propuestas de vivienda de protección oficial- financiado por Prointec S.A. mediante un convenio de colaboración con el IETcc. D. Jiménez (IETcc) ha proporcionado el programa Genede de optimización de la demanda energética, actualmente en desarrollo, para la obtención y tratamiento de datos.

## REFERENCIAS

- [1] MORRISSEY, J. & HORNE, R. E. (2011). Life cycle cost implications of energy efficiency measures in new residential buildings. *Energy and Buildings*, 43, 915-924.
- [2] GALVIN, R. 2010. Thermal upgrades of existing homes in Germany: The building code, subsidies, and economic efficiency. *Energy and Buildings*, 42, 834-844.
- [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] REZAI, B., ESMAILZADEH, E. & DINCER, I. 2011. Renewable energy options for buildings Case studies. *Energy and Buildings*, 43, 56-65.
- [5] DIAKAKI, C., GRIGOROUDIS, E., KABELIS, N., KOLOKOTSA, D., KALAITZAKIS, K. & STAVRAKAKIS, G. 2010. A multi-objective decision model for the improvement of energy efficiency in buildings. *Energy*, 35, 5483-5496.
- [6] VERBEECK, G. & HENS, H. 2010. Life cycle inventory of buildings: A contribution analysis. *Building and Environment*, 45, 964-967.
- [7] PULSELLI, R. M., SIMONCINI, E. & MARCHETTINI, N. 2009. Energy and emergy based cost-benefit evaluation of building envelopes relative to geographical location and climate. *Building and Environment*, 44, 920-928.
- [8] GUSTAVSSON, L. & JOELSSON, A. 2010. Life cycle primary energy analysis of residential buildings. *Energy and Buildings*, 42, 210-220.
- [9] ORTIZ, O., PASQUALINO, J. C., DIEZ, G. & CASTELLS, F. 2010. The environmental impact of the construction phase: An application to composite walls from a life cycle perspective. *Resources Conservation and Recycling*, 54, 832-840.
- [10] MITHRARATNE, N. & VALE, B. 2004. Life cycle analysis model for New Zealand houses. *Building and Environment*, 39, 483-492.
- [11] SU, X. & ZHANG, X. 2010. Environmental performance optimization of window-wall ratio for different window type in hot summer and cold winter zone in China based on life cycle assessment. *Energy and Buildings*, 42, 198-202.
- [12] BLENGINI, G. A. & DI CARLO, T. 2010. Energy-saving policies and low-energy residential buildings: an LCA case study to support decision makers in Piedmont (Italy). *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15, 652-665.
- [13] "LIDER aplicación informática ", ed: Ministerio de Vivienda, IDAE.
- [14] Código Técnico de Edificación (2008).
- [15] JIMENEZ, D. (2008) Programa GENEDE actualmente en desarrollo.
- [16] ITEC (2008) "Banco BEDEC Banco estructurado de datos de elementos constructivos"
- [17] Hegger, M. Fuchs, M. Stark, T. Zeumer, M. (2008) *Energy Manual. Sustainable architecture*. Birkhäuser Verlag AG, Edition Detail. Basel, Switzerland.