

CRITERIOS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL PROYECTO DE FACHADAS DE EDIFICIOS DE VIVIENDAS

Alonso, C.* Oteiza, I.1 García, J.2

* 1 Instituto de Ciencias de la construcción Eduardo Torroja.

2 Universidad Politécnica de Madrid.

c-alonso@ietcc.csic.es

RESÚMEN

Las actuales exigencias en materia de energía y emisiones y la ineficiencia del parque edificado hacen necesario detectar soluciones apropiadas para el diseño de la envolvente de los edificios. Dentro de esta envolvente, la fachada juega un papel determinante, ya que además de gestionar los flujos energéticos que se producen entre el interior y el exterior, tiene la capacidad de mejorar la calidad ambiental interior.

En este trabajo se analiza el potencial de ahorro de energía y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de varias estrategias de diseño de fachadas desde una perspectiva de ciclo de vida, incluyendo la energía necesaria en la fase de uso y la que llevan incorporada los materiales. 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.

Los resultados obtenidos proporcionan datos de referencia del comportamiento de varios sistemas, 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.

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 considerablemente el impacto ambiental, tanto en la selección de materiales como durante el uso del edificio.

1.- Introducción

La reducción en el consumo de energía y emisiones de CO₂ de los edificios forma ya parte de multitud de programas y acciones a corto y largo plazo. Un primer paso para conseguir “viviendas cero emisiones” es reducir la demanda de calefacción y refrigeración a través de la mejora en los sistemas constructivos que componen la envolvente del edificio. Esta envolvente también tiene la capacidad de garantizar la calidad ambiental interior, ya que es a través de ella donde se produce el intercambio entre el ambiente interior y el exterior, y donde la iluminación, ventilación o flujo de calor funcionan como parámetros fundamentales de diseño.

En España la mitad del consumo energético de las viviendas está destinado al acondicionamiento térmico [1], donde la fachada, como parte integrante de la envolvente juega un papel determinante. Por otro lado, el 70% de las viviendas dispone de calefacción, y el 35% dispone de aire acondicionado, y sólo un 39% de las viviendas dispone de doble acristalamiento, y un 11% dispone de carpinterías con rotura de puente térmico [2]. También la envolvente tiene un importante peso en los flujos de materia y energía incorporados en los materiales, ya que supone

aproximadamente el 18.5% de emisiones, el 20.4% de la energía y el 28% del peso de los materiales de la edificación [3]

Las diferencias en la configuración espacial y constructiva de las fachadas y los condicionantes impuestos por el proyecto, tanto para nueva construcción como para rehabilitación, hacen necesario conocer el comportamiento energético de estas fachadas atendiendo a una serie de parámetros, que permitan detectar el potencial de reducción de consumo energético y de emisiones de gases de efecto invernadero para una amplia variedad de casos. Dado el número de parámetros que intervienen en el diseño del edificio, resulta necesario valorar el comportamiento de diferentes estrategias y detectar las posibles mejoras en una fase inicial de proyecto, integrando especialmente criterios ambientales en estas decisiones de diseño.

En este estudio se presenta un análisis de la influencia de varios parámetros de diseño de fachadas en la demanda energética y emisiones de CO₂ eq para el acondicionamiento térmico de viviendas en España, y su relación con la energía y emisiones incorporados en los materiales de construcción. Los resultados obtenidos se han incluido en una herramienta de asistencia al diseño que actualmente se encuentra en desarrollo y que permite vincular información sobre consumos energéticos, emisiones y costes para diferentes sistemas de fachada.

2.- Metodología

La metodología propuesta permite valorar una serie de soluciones de fachada en una fase inicial de proyecto, con un enfoque de ciclo de vida. Por el momento se han incluido como indicadores los incrementos en energía y emisiones derivadas del acondicionamiento térmico de las viviendas y la energía y emisiones que llevan incorporados los componentes constructivos.

Actualmente existen multitud de experiencias, programas y estudios que tratan la reducción de la demanda energética en edificios. Por un lado, encontramos estudios que tratan la reducción de la demanda en la fase de uso, y por otro algunos autores ofrecen datos sobre la energía incorporada en los sistemas constructivos. La relación entre ambos aparece en algunos estudios teóricos para casos particulares. Verbeeck [4] por ejemplo, estudia el potencial de reducción de consumo para cuatro tipos de edificios residenciales en Bélgica, Pulselli [5] presenta una evaluación similar a la que se plantea en este artículo para tres tipos de fachada en tres localizaciones diferentes, Gustavsson [6] analiza once casos en Suecia, y Ortiz [7] amplía el espectro de impactos utilizando un enfoque de ciclo de vida para diferentes sistemas constructivos aplicados a un edificio en Barcelona, en el que los muros, tanto interiores como exteriores suponen el 19% del consumo de recursos, el 7% del consumo de energía no renovable, el 35% del consumo de agua, 30% de residuos de obra y el 10% de residuos de embalaje en la fase de construcción. Desde un punto de vista de ciclo de vida Mithraratne [8] plantea el estudio de la energía incorporada en materiales y uso, y su coste asociado para Nueva Zelanda, y Su [9], analiza el impacto del ratio ventana-muro para un edificio tipo de oficinas en China. Por otro lado, en el ámbito de la rehabilitación en España, resulta de especial interés la experiencia del proyecto Rehenergía [10], para el estudio del potencial de rehabilitación energética de edificios existentes, en el que se analizan nueve tipologías edificatorias y quince secciones constructivas.

Otros autores utilizando un enfoque más estratégico, como Nemry [11] plantean un análisis a nivel europeo en el que se ofrecen datos para el potencial de reducción de impacto en edificios residenciales. La unidad funcional utilizada en este caso es 1m² de superficie útil en un año, en el que además de cuantificar cinco impactos potenciales, también se analiza la energía primaria (renovable y no renovable) y la eficiencia en el coste. En este estudio se utiliza la base de datos GaBi 4 database y el software Epiqr para el cálculo de la demanda energética de acondicionamiento. Eichhammer [12] también en esta línea, analiza impactos y costes para diferentes escenarios a nivel europeo.

En este caso, para acotar el estudio de la fachada a escala de elemento constructivo, se ha tomado como referencia la superficie de una vivienda media en España y se ha considerado una geometría tipo (Figura), que responde a una vivienda pasante de un bloque, en la que la unidad funcional se corresponde con el uso de 1m² de superficie útil en un año. Para analizar los vínculos entre algunas características técnicas de los componentes de fachada y sus prestaciones, en relación con los consumos energéticos y sus emisiones de gases de efecto invernadero asociadas, se han seleccionado varios parámetros y se ha estimado su repercusión sobre un módulo tipo de vivienda con el objeto de identificar su incidencia sobre el comportamiento energético de la vivienda.

2.1- Variables

A partir del módulo de vivienda tipo, se ha realizado un estudio paramétrico a partir de distintas variables implicadas en la demanda para acondicionamiento térmico de la vivienda (Tabla 1). También se ha incluido la energía y emisiones incorporadas en los materiales de los sistemas constructivos para poder obtener una visión más global desde una perspectiva de ciclo de vida, pero en el caso de los materiales, las variables implicadas son exclusivamente el tipo de hueco, el tipo de muro, y el porcentaje de huecos en fachada, sin considerar criterios de regionalización en los datos de partida para los materiales.

Situación		α	Vent.	Muro	Hueco	H/M A	H/M B	Sol
Zona	Ciudad	grados	h-1	Tipo	Tipo	%	%	1/0
A3	Málaga	0	0,2	M01	H1	10%	10%	1
A4	Almería	90	0,6	M02	H2	20%	20%	0
B3	Valencia	135	1	M03		40%	40%	
B4	Sevilla	180		M11		80%	80%	
C1	Bilbao	225		M12				
C2	Barcelona	270		M13				
C3	Granada			M21				
C4	Badajoz			M22				
D1	Pamplona			M23				
D2	Valladolid							
D3	Madrid							
E1	León							

Tabla 1 Resumen de variables

- Situación: Se han tomado doce capitales de provincia para representar las diferentes zonas climáticas en España, según las combinaciones de severidad climática de invierno, SCI y verano, SCV
- Orientación: Se han tomado las siguientes orientaciones (0°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°)
- Ventilación: Se ha incluido también la renovación del aire interior como variable de estudio, tomando como referencia el estándar que establece Passive House [13], de 0,6 renovaciones/hora y añadiendo otros dos valores, uno por encima y otro por debajo, para poder contemplar variaciones en la ventilación natural que puede ser extremadamente variable dependiendo del comportamiento de los usuarios.
- Composición constructiva: Para simplificar el número de casos, se han tomado los siguientes cerramientos de fachada, diferenciando entre la parte ciega y los huecos:
 - Tipo de muro: Se han tomado tres tipos de muro con diferentes transmitancias ($U=0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U=0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U=0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$) con tres composiciones diferentes cada uno, todas ellas con el material aislante situado en el exterior. La diferencia fundamental entre ellos es la cantidad de masa situada en el interior del cerramiento: M01, M11 M21 aislante+masa, que se corresponderían con la fachada más convencional, teniendo en cuenta la actual práctica constructiva en España, M02 M12 M22 fundamentalmente compuestos por material aislante, que respondería a un cerramiento ligero aislante, y M03 M13 M23 con mayor cantidad de masa en el interior.
 - Tipo de hueco: Se han tomado dos tipos de hueco, ambos con carpintería de aluminio: H1, en el que vidrio y marco tienen una transmitancia de $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ y $3,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ respectivamente ($1,76 \text{ W/m}^2\text{K}$ de transmitancia media y permeabilidad al aire de $20 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ a 100 Pa .), y H2 con $3,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ para el vidrio y $5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ para el marco ($3,54 \text{ W/m}^2\text{K}$ de transmitancia media y permeabilidad al aire de $50 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ a 100 Pa .). El porcentaje de hueco cubierto por el marco se ha considerado en ambos casos del 10%.
 - Porcentaje de huecos: El tamaño de los huecos actúa como variable en ambas fachadas independientemente.

La combinación de las diferentes variables ha dado lugar a 124.416 casos con sus correspondientes resultados (10.368 casos para cada una de las ciudades).

2.2- Impactos

Para el cálculo de la demanda para acondicionamiento térmico en la fase de uso se ha utilizado el programa de referencia LIDER [14], que calcula la demanda del edificio en las condiciones estándar requeridas por la certificación energética en España, y permite obtener información sobre la demanda de energía tanto para calefacción como para refrigeración. Teniendo en cuenta el módulo utilizado, las dos superficies horizontales y dos de las verticales estarían en contacto con espacios en idénticas condiciones de uso, por lo que para el cálculo de la demanda de acondicionamiento se han considerado todos los cerramientos adiabáticos excepto las dos fachadas A y B, donde se produce el intercambio interior-exterior.

Para el cálculo de las emisiones de CO₂ y energía primaria se han considerado los coeficientes de paso utilizados para la certificación de IDAE [15], utilizando como fuente de energía el gas natural para calefacción ($0,204 \text{ Kg CO}_2/\text{KWh}$ de energía

final), y la electricidad para refrigeración (0,649 Kg CO₂/KWh de energía final). De momento no se ha considerado la aportación de energías renovables in situ ni el rendimiento de los equipos de acondicionamiento.

En el caso de los materiales, existen diversas fuentes que ofrecen datos de energía y emisiones incorporados (Hegger [16], Azpilicueta [17], M.J. González [18], Calkins [19]). En este estudio la energía y emisiones incorporadas en los materiales se establece a partir de datos proporcionados por el banco BEDEC [20], siguiendo una metodología similar a la que propone Zabalza [21]. Los parámetros que relacionan estos impactos de los materiales en el módulo son el tipo de muro, tipo de hueco y porcentaje de huecos en fachada, para los que se ha establecido una relación lineal.

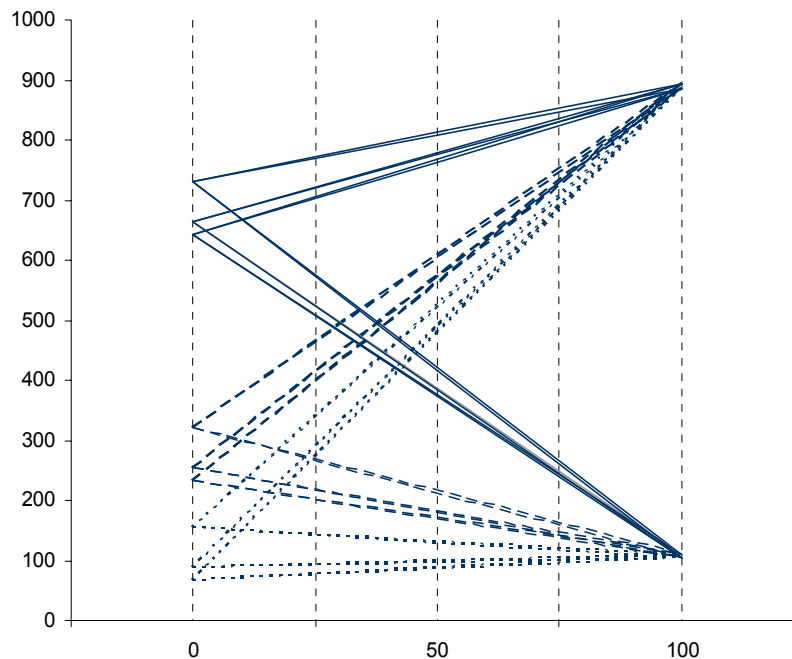


Figura 1. Energía incorporada en los materiales para diferentes tipos de muro y hueco según el porcentaje de huecos en fachada (KWh/m²)

Si se observa la figura --- en que aparecen estos parámetros a modo de ejemplo, se puede ver cómo en el eje horizontal aparece el porcentaje de huecos en fachada y en el eje vertical la energía incorporada. En el caso de 0% de huecos, aparecería la energía incorporada en los muros para cada tipo de muro, y en el caso de 100% de huecos, la que obtendríamos sería la que llevan incorporada los diferentes tipos de hueco. Las líneas que unen estos valores responden a diferentes combinaciones hueco-muro.

2.3- Límites del estudio

Se ha considerado el elemento constructivo de manera aislada, por lo que se ha obviado la influencia de otros componentes y sistemas del edificio y otros parámetros de uso pueden influir en los resultados. Tampoco se han tenido en cuenta otros consumos íntimamente ligados a los componentes de fachada, como el de iluminación, que también tendrá una repercusión sobre la demanda energética y las emisiones.

El estudio se centra en dos fases del ciclo de vida del edificio. Otras fases que no se han tenido en cuenta de momento, como el transporte, puesta en obra o fin de vida, completarían el estudio. Tampoco se están considerando otro tipo de indicadores

ambientales, o indicadores económicos y sociales, necesarios para un análisis completo de sostenibilidad.

Respecto a los datos de cálculo, en el caso de la demanda de energía los valores son los que proporciona el programa de cálculo, y en el caso de los materiales, la dispersión de datos de energía y emisiones para los diferentes materiales hace necesario tomar los valores como una aproximación para las diferentes estrategias. Para traducir esta demanda energética a consumo y emisiones de carbono, es necesario conocer la eficiencia en los sistemas de generación y suministro de la energía demandada, lo que por el momento no se ha considerado en este trabajo, así como los parámetros de comportamiento y gestión de uso.

El programa para la cuantificación de la demanda es el que marca actualmente la normativa, por lo que permite relacionar las estrategias con el cumplimiento normativo y la posible mejora de la calificación energética; sin embargo, al no ser un programa de simulación, el manejo de parámetros y resultados no resulta sencillo. Los datos de energía y emisiones de los materiales, así como la vida media estimada también surgen de simplificaciones que se debe tener en cuenta a la hora de manejar los resultados.

Otro tipo de sistemas para muros o huecos con menor energía incorporada, como pueden ser los cerramientos pesados a base de tierra cruda o elementos reciclados o reutilizados con las mismas prestaciones en uso que se dan para los sistemas utilizados en este estudio, supondrían variaciones a la hora de valorar las diferentes fases del ciclo de vida. Lo mismo sucede con la vida de servicio de los sistemas. En este caso se ha tomado una vida media de cincuenta años, pero pueden existir variaciones importantes para los diferentes componentes, según su comportamiento en uso.

3.- Análisis de resultados

Con el fin de comparar el impacto de los materiales con los derivados del acondicionamiento térmico, en el análisis los impactos se darán en las mismas unidades, por metro cuadrado útil al año, considerando una vida de servicio media de 50 años.

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. Para la exposición de resultados y el análisis, se han tomando tres zonas climáticas que corresponden a climas más extremos para invierno y verano, E1 León y A4 Almería, y un clima intermedio, D3 Madrid sobre el que se va a hacer mayor hincapié por ser una de las zonas climáticas más representativas.

La media de demanda de energía es de 33,4 KWh/m²año para Almería, 43,3 KWh/m²año para Madrid y 46,3 KWh/m²año para León, respectivamente. Esta energía corresponde a la suma de la energía necesaria para acondicionamiento térmico (calefacción y refrigeración) y la que llevan incorporada los materiales. Si se observan estos mismos datos desglosados, se puede ver cómo lógicamente la demanda para calefacción es prácticamente nula en el caso de Almería, mientras que en Madrid la media es de 19,2 KWh/m²año y en León de 33,4 KWh/m²año. En el caso de la refrigeración, la tendencia es inversa, ya que para el caso de Almería se observa una media de refrigeración mayor, de 26,4 KWh/m²año, para Madrid de 18,5 KWh/m²año y León con 7,3 KWh/m²año. Los materiales en los tres casos tienen la

misma energía incorporada de 5,6 KWh/m²año de media, ya que los datos de partida no están regionalizados.

En cuanto a las emisiones de CO₂ (emisiones incorporadas en los materiales y emisiones asociadas a la demanda de acondicionamiento térmico) la media se sitúa en 19,8 KgCO_{2eq} para el caso de Almería, 18,3 KgCO_{2eq} para Madrid, y 13,9 KgCO_{2eq} para León. Cabe recordar en este caso que las emisiones por KWh para el caso de calefacción en el modelo estudiado son del orden de tres veces menores que las de refrigeración, debido a las diferencias entre el gas natural considerado para la calefacción y la electricidad considerada para refrigeración, por lo que la variación por localidades respecto a la demanda de energía resulta considerable. Si se observan estos mismos datos desglosados, los valores medios de refrigeración son para el caso de Almería, de 17,2 KgCO_{2eq}, para Madrid de 12 KgCO_{2eq}, y para León 4,7 KgCO_{2eq}. En calefacción los valores medios son de 3,9 KgCO_{2eq} para Madrid, y 6,8 KgCO_{2eq} para León. Como se ha comentado en el caso de la energía, los materiales no están regionalizados, por lo que la media para las tres ciudades se sitúa en 2,4 KgCO_{2eq}.

Observando estos datos en relación a las diferentes variables, se pueden ver una serie de tendencias a nivel general:

-Renovación de aire

El aumento de la renovación de aire influye positivamente disminuyendo la demanda de refrigeración, y por el contrario, negativamente aumentando la demanda de calefacción. Por tanto en las zonas más frías la demanda energética aumenta con el incremento de la renovación de aire y en las zonas más cálidas, este incremento de la ventilación resulta favorable para la refrigeración.

Al tratarse de viviendas con ventilación natural, esta renovación de aire varía atendiendo a las condiciones de uso, por lo que este factor presenta un alto grado de incertidumbre para la cuantificación de la demanda. Sin embargo, este tipo de resultados pueden servir como referencia para optimizar esta ventilación en los diferentes casos, teniendo como exigencia base la renovación necesaria para garantizar la salubridad del ambiente interior en los diferentes espacios.

-Orientación-soleamiento

La orientación más desfavorable es la este-oeste (90° y 270°), seguida de la orientación a 135° y 225°. Las más favorables son 0° y 180°, que se corresponderían con la orientación norte-sur. Lógicamente, las obstrucciones solares influyen positivamente sobre la demanda de refrigeración, disminuyéndola y negativamente sobre la de calefacción, aumentándola.

La orientación y el acceso solar resultan determinantes a la hora de identificar la captación solar en invierno y las necesidades de obstrucción solar para verano.

En Madrid, por ejemplo la radiación global media diaria en un plano vertical es de 3,21 KWh/m² para la orientación Sur, 3,23 KWh/m² para SE y SO, 2,76 KWh/m² para E y O, 1,8 KWh/m² para NE y NO, y 1,18 KWh/m² para Norte [22].

Aunque a nivel general la orientación norte-sur es la más favorable, la influencia de otros parámetros hace que en muchos casos para orientaciones menos favorables la demanda sea menor que para orientaciones favorables. Es el caso por ejemplo del porcentaje de huecos para las fachadas A y B, que permite adaptar la captación solar para las diferentes orientaciones.

-Tipo de muro y masa térmica

Dentro de los tipos de muro seleccionados, se observa cómo, a menor transmitancia (M01, M02 y M03), menor es la demanda tanto para cargas de refrigeración como para calefacción, aunque la influencia de media sobre cargas de calefacción es más notable. En el caso del aumento de masa hacia el interior del cerramiento (M02, M12 y M22) se aprecia cómo se produce también una disminución en las cargas de calefacción y refrigeración, esta vez con mayor influencia sobre la demanda en verano que sobre la de invierno.

Para las tres composiciones diferentes con la misma transmitancia, la diferencia fundamental está en la distribución de la cantidad de masa del cerramiento hacia el interior, lo que proporciona datos sobre la influencia de la inercia térmica de esta masa. El efecto de la masa térmica es mayor para cargas de refrigeración que para calefacción, ya que para la primera la variación de carga es fundamentalmente diaria y para la segunda es fundamentalmente anual.

-Porcentaje hueco-muro

El aumento del porcentaje medio de huecos para ambas fachadas aumenta considerablemente la demanda de refrigeración, mientras que para la demanda de calefacción las diferencias son menos significativas. Esta variable está muy relacionada con otras como la orientación, el soleamiento, la distribución de huecos en ambas fachadas y la energía incorporada en los materiales.

La principal diferencia entre estos dos tipos de cerramiento (hueco y muro) es el potencial de captación solar y la transmitancia de los elementos. El porcentaje de huecos por tanto está muy ligado a la orientación (a mayor porcentaje, mayor captación solar), y composición (a mayor porcentaje más pérdidas por transmitancia, ya que la parte ciega para ambos tipos de hueco en los casos estudiados es más aislante) Tanto para calefacción como para refrigeración, el aumento de los huecos supone en general un aumento en la demanda. Para el caso de calefacción, el porcentaje adecuado es aquel en el que se equilibra la captación solar y las pérdidas por transmitancia, y para el caso de refrigeración, como ya se ha visto, la protección solar y la ventilación son parámetros clave.

En el caso de la energía incorporada en los materiales, el porcentaje de huecos juega otra vez un papel determinante, ya que la cantidad de material utilizado para uno y otro elemento varía según su repercusión en la fachada. Si la energía incorporada por unidad de superficie de muros es mayor que la de los huecos, entonces la opción para reducir esta energía sería aumentar el porcentaje de huecos, y si la de los muros resulta menor, entonces la opción sería reducir el porcentaje de huecos. Para los tipos de hueco estudiados, a medida que el porcentaje de huecos aumenta, la energía incorporada también lo hace de manera proporcional, siendo siempre su energía incorporada por metro cuadrado de fachada superior a la de los muros.

Si se observa la figura, se pueden ver una serie de casos para Madrid, en los que quedan diferenciados los tipos de muro. Las líneas horizontales responden a diferentes combinaciones hueco-muro, y las variaciones en horizontal sobre la demanda responden a variaciones en otro tipo de parámetros como la orientación, ventilación o soleamiento. Si se estableciese una demanda máxima para acondicionamiento, en el eje horizontal, se podrían encontrar diversos sistemas que cumpliesen con esa demanda, desplazándose en vertical.

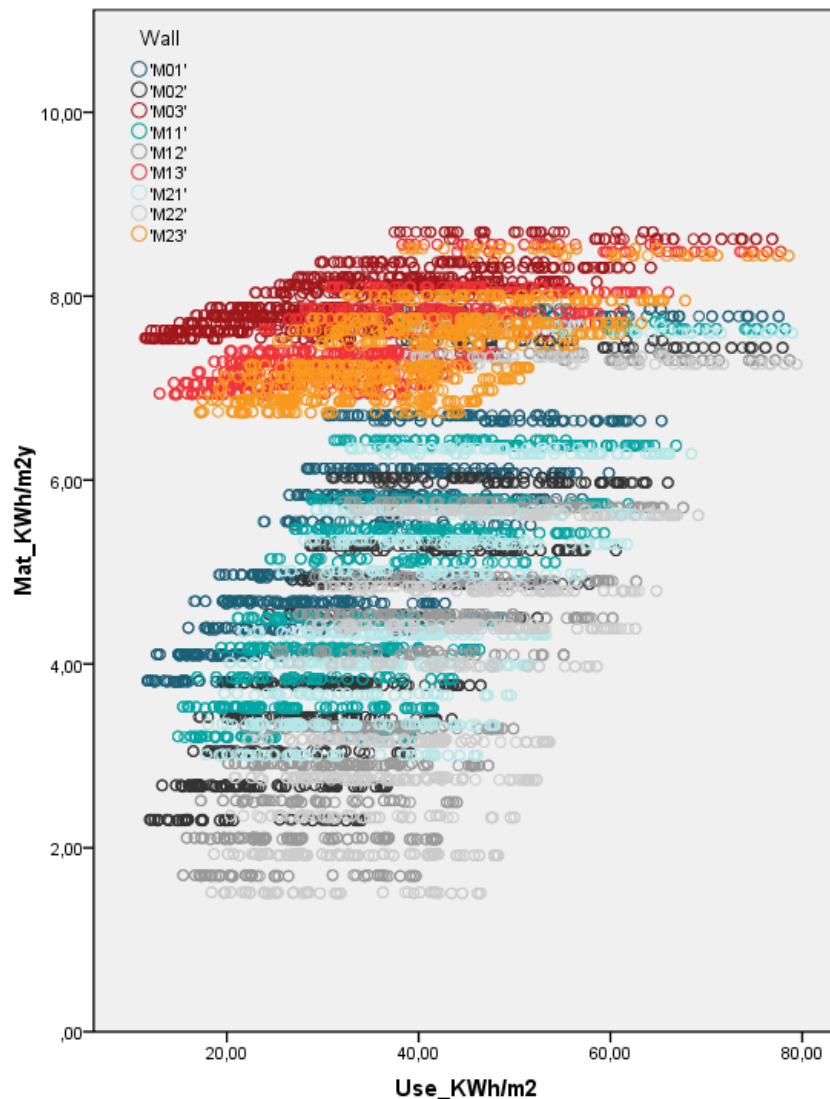


Figura 2: Energía incorporada en los materiales (KWh/m2año) en relación con la energía para acondicionamiento térmico (KWh/m2año) en los casos de Madrid según tipo de muro (M01, M02, M03, M11, M12, M13, M21, M22, M23)

-Materiales

Para los casos estudiados, agregando las tres localidades, la energía incorporada en los materiales supone un 14,7% de media respecto a la total (demanda de uso y demanda de materiales). Sin embargo, si se observan estos mismos datos según el tipo de muro, lógicamente para la composición con mayor cantidad de masa el valor medio es mayor, con un porcentaje respecto al total del 20,2% seguido del siguiente con un 13,6% y por último el de menor masa, con una media de repercusión sobre el total del 10,5%. Si se desglosa por localidades, para el caso de Madrid, de media los materiales suponen un 13,5%, mientras que para Almería y para León, también de media, suponen un 17,3% un 13,4% sobre el total respectivamente.

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 50 años para los materiales. Lógicamente, si se considerase un periodo mayor, por ejemplo de 100 años, los valores deberían reducirse a la mitad.

Si tenemos en cuenta los materiales usados para el cálculo (carpinterías de aluminio lacado, material pesado cerámico y XPS expandido como aislante) se puede

identificar la repercusión energética de las diferentes soluciones y aproximar los resultados para otro tipo de cerramientos. Materiales con una función similar, como por ejemplo una carpintería de madera en sustitución de la de aluminio supondría una disminución considerable en la energía incorporada.

Por otro lado, 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 mayor.

4.- Conclusiones y propuestas

La amplia casuística con la que se enfrenta el sector de la construcción, y en particular el de la rehabilitación, exige detectar soluciones simples adaptadas a los diferentes condicionantes de proyecto. En este estudio se han analizado una serie de casos concretos que pretenden ofrecer algunas conclusiones a nivel general para detectar las estrategias adecuadas en cada zona, pero también se pone de manifiesto que se pueden encontrar diferentes soluciones constructivas para algunos condicionantes de proyecto que probablemente sean menos favorables para la reducción de la demanda energética.

A medida que la demanda para calefacción y refrigeración va disminuyendo, los materiales van cobrando mayor relevancia dentro del cómputo energético global. El enfoque de ciclo de vida permite valorar los diferentes aspectos dentro de este cómputo.

Se ha estudiado la incidencia de algunos parámetros constructivos y de diseño de fachadas en la demanda energética de la vivienda concluyendo que, dentro de los parámetros estudiados para cuantificar la demanda, resultan fundamentales las interacciones entre ellos. Esto confirma la necesidad de considerar de manera integrada las diferentes variables. Una de las variables que mayor repercusión tiene, por ejemplo tanto sobre la demanda de uso como sobre la de los materiales, es el porcentaje de huecos en fachada, donde las variaciones en la demanda energética dependen de otras variables como la localidad, orientación, soleamiento, tipo de muro o tipo de hueco.

Por otro lado, existen otras variables que no se han considerado y que podrían incidir sensiblemente en los resultados, ya que también interactúan en el comportamiento de las fachadas, por lo que resulta especialmente relevante tener en consideración los límites del estudio expuestos.

En este estudio no se ha tratado de asociar la energía que se consumiría en el uso del edificio a los sistemas constructivos concretos; es decir, no trata de repercutir por ejemplo los consumos de calefacción por unidad de aislante o masa. Tampoco se han considerado de momento otros consumos como los de iluminación, en los que la fachada juega un papel importante.

Como propuesta para completar el estudio desde una perspectiva de ciclo de vida, habría que conocer los datos de energía utilizada para el transporte, construcción y tratamiento de residuos de estos sistemas constructivos y plantear diferentes escenarios de fin de vida. En cuanto a los parámetros seleccionados a priori, aunque en general representan una amplia variedad de casos, en el caso de los huecos, convendría profundizar en el estudio, analizando huecos con diferente permeabilidad al aire, otros sistemas de obstrucción solar más selectivos, y otros materiales con menor energía incorporada.

Actualmente se están llevando a cabo una serie de estrategias para el fomento de la rehabilitación energética, que en lo que se refiere a las fachadas tiene que ver con la mejora del aislamiento tanto en muros como en huecos. Los datos que aquí se muestran pueden servir como referencia para cuantificar las mejores estrategias para estos cerramientos. El aumento de la cantidad de aislamiento en los muros, el cambio de ventanas, o la protección solar son estrategias de sencilla ejecución y con un gran potencial de ahorro energético en estos casos de rehabilitación. Otros parámetros como puede ser la orientación, vienen dados de partida en el caso de edificios existentes.

Por último, ya que este trabajo está enfocado al desarrollo de una herramienta de asistencia al diseño de fachadas, los resultados obtenidos se han incluido en una herramienta que actualmente se encuentra en desarrollo y que permite vincular información sobre consumos energéticos, emisiones y costes para diferentes sistemas de fachada con un enfoque de ciclo de vida.

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] IDAE, "Informe anual de consumos energéticos. Año 2007. ", ed, 2009.
- [2] INE, "Encuesta de hogares y medio ambiente," ed, 2008.
- [3] A. Cuchi, "Sobre una estrategia para dirigir al sector de la edificación hacia la eficiencia en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI)," ed. España: Ministerio de Vivienda, 2007.
- [4] G. Verbeeck and H. Hens, "Life cycle inventory of buildings: A contribution analysis," *Building and Environment*, vol. 45, pp. 964-967, 2010.
- [5] R. M. Pulselli, *et al.*, "Energy and emergy based cost-benefit evaluation of building envelopes relative to geographical location and climate," *Building and Environment*, vol. 44, pp. 920-928, 2009.
- [6] L. Gustavsson and A. Joelsson, "Life cycle primary energy analysis of residential buildings," *Energy and Buildings*, vol. 42, pp. 210-220, Feb 2010.
- [7] O. Ortiz, *et al.*, "The environmental impact of the construction phase: An application to composite walls from a life cycle perspective," *Resources Conservation and Recycling*, vol. 54, pp. 832-840, Sep 2010.
- [8] N. Mithraratne and B. Vale, "Life cycle analysis model for New Zealand houses," *Building and Environment*, vol. 39, pp. 483-492, Apr 2004.
- [9] X. Su and X. Zhang, "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*, vol. 42, pp. 198-202, Feb 2010.
- [10] I. Cerdá, "Proyecto Rehenergía ", ed: Ministerio de Vivienda, 2010.
- [11] F. Nemry, *et al.*, "Environmental Improvement Potentials of Residential Buildings (IMPRO-Building)," ed: European Commission Joint Research Centre. Institute for Prospective Technological Studies, 2008.
- [12] W. Eichhammer, *et al.*, "Study on the Energy Savings Potentials in EU Member States, Candidate Countries and EEA Countries. ", ed, 2009.
- [13] P. H. Institute, "Passive House Standards."
- [14] "LIDER aplicación informática ", ed: Ministerio de Vivienda, IDAE.

- [15] IDAE, "Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a Lider y Calener.," 2009.
- [16] M. Hegger, *et al.*, *Construction materials manual*. Munich: Birkhauser, Edition Detail, 2006.
- [17] E. Azpilicueta, " Hacia un óptimo energético. Instalaciones y energía.," *Tectónica* vol. 31, pp. 6-33, 2010 2010.
- [18] M. J. Gonzalez and J. G. Navarro, "Assessment of the decrease of CO2 emissions in the construction field through the selection of materials: Practical case study of three houses of low environmental impact," *Building and Environment*, vol. 41, pp. 902-909, Jul 2006.
- [19] M. Calkins, *Materials for sustainable sites*. Hoboken, New Jersey: John Wiley and sons, 2009.
- [20] ITec, "Banco BEDEC Banco estructurado de datos de elementos constructivos," ed, 2008.
- [21] I. Zabalza Bribián, *et al.*, "Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification," *Building and Environment*, vol. 44, pp. 2510-2520, 2009.
- [22] G. Yañez, Ed., *Arquitectura solar e iluminación natural*. Madrid: Munilla-leria Ed, 2008, p.^pp. Pages.