

AISLAMIENTO Y RECICLAJE PARA REDUCIR EL CONSUMO ENERGÉTICO DE LAS VIVIENDAS EN ANDALUCÍA

**Marrero Melendez, Madelyn. Dra. Ingeniera Industrial
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación. Departamento de
Construcciones Arquitectónicas II. Universidad de Sevilla.
CP. 41012. Sevilla. España.
E-mail: madelyn@us.es**

RESUMEN

Se han realizado dentro del proyecto de investigación Aislamiento y Reciclaje para Reducir el Consumo Energético de las Viviendas en Andalucía (ARCEVA) diversos trabajos relacionados con la solución de fachadas. Se identifican cuatro trabajos principales: desarrollo de materiales de construcción reciclados que incluyen paneles de yeso y placas de hormigón, evaluación del consumo energético de las nuevas fachadas y finalmente evaluación de los impactos, técnico, ambiental, económico y social, de las nuevas propuestas. Se han cuantificado los impactos de las fachadas en las viviendas a través de diferentes indicadores que permiten identificar los materiales y productos de construcción que controlan el problema. Para ello se emplea un modelo de cuantificación de recursos consumidos en construcción que se basa en la estructura de medición y presupuesto de obras de edificación del Banco de Costes de la Construcción de Andalucía. La metodología propuesta analiza una fachada de vivienda compuesta principalmente por fábrica de ladrillo y trasdosado de cartón-yeso, materiales comúnmente empleados en las viviendas VPO en Andalucía. Se identifica que ambos materiales controlan el impacto ambiental y económico de la solución y se sustituyen por nuevos materiales reciclados desarrollados también en el proyecto. Los materiales reciclados han sido caracterizados: procesos de manufactura, composición, comportamiento mecánico y frente al fuego. Finalmente, se realizan prototipos de fachas a escala de laboratorio y se comprueba mediante el modelo de cuantificación como se reducen significativamente el impacto ambiental y económico de la ejecución de fachadas mediante las nuevas propuestas.

Palabras clave: Construcción sostenible, materiales reciclados, impacto medioambiental, impacto económico, fachada.

1.- INTRODUCCIÓN

En la Unión Europea, la construcción de edificios consume el 40% de los recursos naturales y la energía primaria, y genera una proporción similar de residuos. Estos datos nos hablan de un sector profundamente impactante sobre el medio económico, ecológico y social, en definitiva un sector insostenible (1). Asimismo, los edificios, una vez construidos, continúan siendo una causa directa de contaminación por las emisiones que se producen en los mismos o el impacto sobre el territorio, creando un ambiente físico alienante, y una fuente indirecta por el consumo de energía y agua necesarias para su funcionamiento (2).

Para conocer el alcance de las modificaciones ambientales ocasionadas por la industria de la construcción, surge, entre otras, la metodología de análisis del ciclo de vida (ACV) de los materiales (3). El ACV es un proceso que permite evaluar la dimensión medioambiental de los materiales de construcción, es decir intenta calificar y cuantificar el peso de sus impactos durante todo su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas hasta el final de los mismos. Por ello es necesario acotar las principales etapas del ciclo de vida de los materiales de construcción tales como: extracción de materias primas, producción, transporte, construcción, uso y mantenimiento, demolición o deconstrucción, y por último, valorización o depósito de residuos. El ciclo se cierra si los residuos son reciclados o los materiales reutilizados (4).

En la primera etapa del ciclo de vida de los materiales de construcción, los costes ecológicos se deben al consumo de los recursos naturales, al consumo energético y a la generación de los residuos. El consumo a gran escala de determinados materiales puede llevar a su agotamiento y transformación del medio. Así, el empleo de materiales procedentes de recursos renovables y abundantes será una opción de interés (1).

La siguiente etapa la hemos definido como la de producción, el material fuertemente manipulado y que ha sido sometido a un proceso de fabricación tiene unos efectos medioambientales muy importantes, especialmente desde el punto vista energético. Puesto que una importante fracción de la energía primaria es consumida y su empleo ocasiona el calentamiento global, a partir de las emisiones de CO₂, así como el riesgo de agotamiento de determinados recursos (2).

Otra etapa del ciclo de vida de los materiales de construcción con un alto impacto ambiental tiene lugar en la valorización o depósito de residuos de construcción y demolición (RCD) en vertederos. Tras la demolición o deconstrucción de la edificación, un alto porcentaje de los materiales se convierten en residuos (5). Su destino, ya sea la reutilización directa, el reciclaje o la deposición en vertedero, hará que su impacto sea mayor o menor.

Para reducir el impacto de los RCD (última etapa del ciclo de vida) y también reducir la extracción de materias primas (primera etapa), en la mayoría de los casos recursos no renovables, surge el empleo de materiales reciclados en los nuevos productos de construcción. En la actualidad, en el sector de la edificación se percibe la proliferación de nuevos productos de construcción que incorporan materiales reciclados (pétreos, plásticos, madera, vidrio, papel, etc.), gestándose lo que se ha venido a denominar una nueva generación de eco-productos que aúnan eficiencia y compromiso medioambiental (6).

En este sentido, también surge la utilización de residuos de otras industrias en los materiales de construcción tales como en hormigones y morteros que son objeto de numerosas investigaciones. Cabe destacar el uso de cenizas de carbón en hormigones (7) y como materia prima para la fabricación de cementos desde hace muchos años (8).

En el proyecto de investigación ARCEVA se ha trabajado en todas las líneas antes descritas, en el caso particular de la solución de fachadas, a través de cuatro trabajos principales: desarrollo de materiales de construcción reciclados que incluyen paneles de yeso y placas de hormigón, evaluación del consumo energético de las nuevas fachadas y finalmente evaluación de los cuatro impactos de las nuevas propuestas: económico, social, tecnológico y ambiental.

En la primera aproximación del problema se desarrollaron dos materiales de construcción reciclados partiendo de cenizas de centrales térmicas y de residuos de la construcción, obteniendo paneles de yeso reciclados y hormigón reciclado, respectivamente. En la siguiente etapa, una vez caracterizados los nuevos materiales, se modelaron térmicamente para evaluar su eventual incorporación en soluciones constructivas de fachada y se montaron prototipos a escala de laboratorio.

En la última etapa de la investigación se aplica el modelo de cuantificación de recursos consumidos en construcción (MCRC) (9) para evaluar el impacto ambiental: recursos materiales, coste energético, emisiones de CO₂ y residuos; y el impacto económico, que se produce en el proceso de ejecución de una fachada. Se identifican los materiales que controlan dichos impactos en la solución y se sustituyen por nuevos materiales reciclados desarrollados por los autores entre otros. Finalmente se comprueba mediante el MCRC como se reducen significativamente el impacto ambiental y económico en la ejecución de fachadas.

2.- MATERIALES

En el presente trabajo para minimizar el impacto ambiental vamos a proponer una solución alternativa de fachada, donde se empleen materiales reciclados. En nuestro caso vamos a emplear: paneles reciclados de yeso (10) y placas recicladas de hormigón (11).

El panel reciclado de yeso ha sido desarrollado a partir de cenizas volantes producidas durante la combustión de biomasa en centrales térmicas. En este caso, la biomasa es orujillo, residuo que se genera durante la extracción de aceite a la aceituna. Estas cenizas, no son aprovechables en cementos, y se producen cada vez en mayor cantidad, debido a que la biomasa trata de sustituir al carbón, y así disminuir las emisiones de CO₂. El panel reciclado de yeso está formado, además de por estas cenizas, por aglomerante y aditivos (12). Se trata de nuevo material de construcción elaborado a partir de un mortero compuesto por un alto porcentaje de residuos (> 50%p), que presenta una baja densidad (<900kg/m³), con un sencillo método de fabricación, una alta resistencia al fuego (conferido por la alta proporción de cenizas de biomasa en su composición), ver figura 1, y una resistencia a compresión superior a 1 MPa.

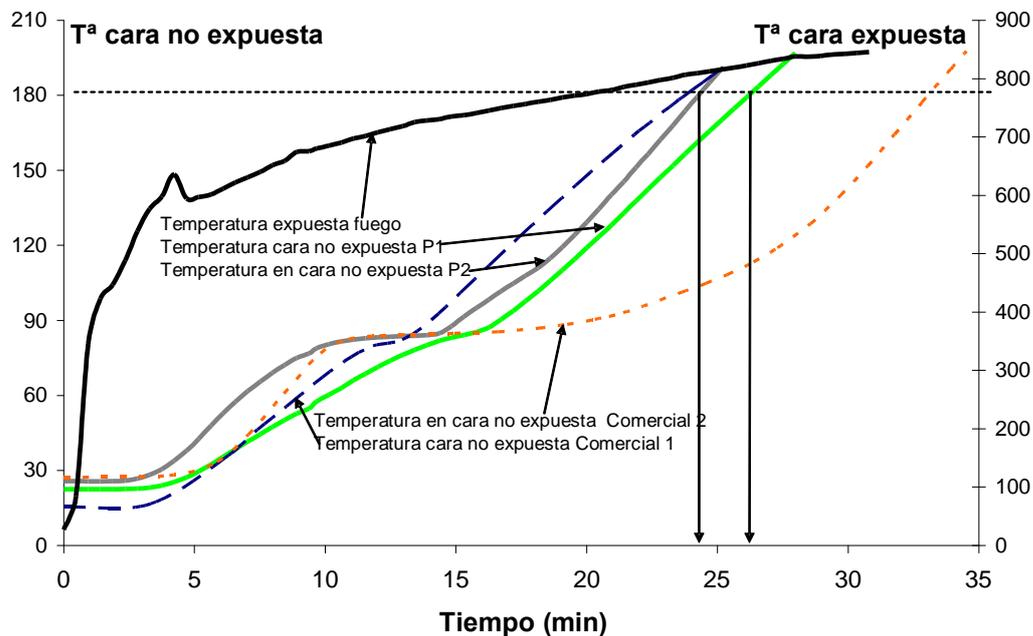


Figura 1. Resistencia al fuego de las placas recicladas frente a dos productos en el mercado (11)

El método de fabricación consiste en la mezcla simple de los componentes en una hormigonera hasta la obtención de una mezcla homogénea, a continuación se añade agua y se mueve nuevamente hasta la obtención de la pasta homogénea (relación agua/sólido = 0,5) (13). Una vez obtenida la pasta que se vierte sobre los moldes de encofrado, el desencofrado se realiza a las 24 horas y se cura a temperatura ambiente (temperatura media: 20° y humedad relativa media: 45% durante 28 días.

El segundo nuevo material, las placas de hormigón reciclado se obtienen de sustituir el árido natural por árido reciclado obtenido de una planta de tratamiento de RCD (11), dentro de la cual se obtienen dos fracciones de residuos de demolición en función de su tamaño de partícula, una que se denomina árido fino y otra fracción denominada árido grueso. El hormigón ha sido fabricado mediante la sustitución total de la arena tradicional por el fino que se obtiene en la planta de tratamiento, mientras que la grava ha sido sustituida totalmente por el árido grueso. El porcentaje de residuos en el material final es 80%.

El método de fabricación consiste en el mismo de un hormigón tradicional, se mezclan los componentes en una hormigonera, hasta la obtención de una mezcla homogénea, con una relación agua/sólidos= 0,38. Una vez obtenido la masa se vierte, desencofrándose a las 24 horas y se cura a temperatura ambiente (temperatura media: 20°C y una humedad relativa de 100%) durante 28 días, obteniéndose un hormigón, más ligero que el hormigón tradicional (1600 kg/m³), con una resistencia media a compresión de 15 MPa y sin que presente ningún problema de lixiviación (11).

Una vez desarrollados los nuevos materiales de construcción se construyeron prototipos a escala de laboratorio, verificando su viabilidad como solución constructiva. En la figura 2 se muestra el cerramiento de doble hoja con cámara de aire no ventilada, con su hoja principal de fábrica de ladrillo y su hoja interior de yeso reciclado.

También se caracterización térmicamente las tres soluciones constructivas de fachadas más empleadas en Andalucía identificadas en el trabajo de Mercader, et. al (9):

- 1) Cerramiento de doble hoja con cámara de aire no ventilada, con su hoja principal e interior de fábrica de ladrillo.
- 2) Cerramiento de doble hoja con cámara de aire no ventilada, con su hoja principal de fábrica de ladrillo y su hoja interior de yeso laminado
- 3) Cerramiento de doble hoja sin cámara de aire, con su hoja principal e interior de fábrica de ladrillo.

Para llevar a cabo la evaluación se ha empleado como guía el Catálogo de Elementos Constructivos (CEC) del Código Técnico de Edificación (CTE) (14). De estas tres soluciones se han obtenido sus transmitancias térmicas, con el fin de conocer el grado de aislamiento térmico de estos cerramientos, y se ha comprobado que se encuentran por debajo del valor límite fijado por el CTE para la zona climática de Sevilla, la zona B4, en la cual la transmitancia térmica de muros de fachada presenta una limitación de $U_{Mlim} = 0.82 \text{ W/m}^2\text{K}$, tabla 1. En la solución 2 se sustituye el material comercial por paneles de yeso reciclado en la hoja interior, los resultados se muestran en la tabla 1, solución 4, que también cumple con la limitación.



Figura 2. Prototipo de fachada con paneles de yeso reciclados (10)

	Características térmicas de los cerramientos andaluces tipo				
	Resistencia térmica de los restantes materiales R ($\text{m}^2\text{K/W}$)	Resistencia térmica del aislamiento R_{TA} ($\text{m}^2\text{K/W}$)	Resistencia térmica total R_T ($\text{m}^2\text{K/W}$)	Transmitancia térmica U ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Transmitancia térmica máxima de cerramientos en zona B4 $U \leq 0.82 \text{ W/m}^2\text{K}$
Solución 1	0.710	0.761	1.471	0.679	CUMPLE
Solución 2	0.570	0.761	1.331	0.751	CUMPLE
Solución 3	0.540	0.761	1.301	0.768	CUMPLE
Solución 4	0.543	0.761	1.304	0.794	CUMPLE

Tabla 1. Transmitancia térmica de tres soluciones de fachada estudiadas (10)

3.- METODOLOGÍA

El primer paso para evaluar el impacto ambiental de la ejecución de fachadas es analizar los materiales que la componen. El análisis se lleva a cabo en dos etapas: cuantificación de los recursos materiales consumidos en su ejecución y la evaluación de su impacto medioambiental (9).

Para poder cuantificar los recursos consumidos, y poder compararlos, se sigue el siguiente procedimiento:

- Organizar las mediciones de los proyectos en base a una misma estructura jerarquizada (15).
- Obtener los descompuestos de cada partida utilizando la Base de Costes de la Construcción de Andalucía, BCCA (16).
- Obtener los descompuestos de los componentes que no son elaborados en la obra a partir de empresas y laboratorios especializados.
- Analizar las mediciones usando un programa informático de presupuestos y mediciones.

En la siguiente etapa, para la evaluación del impacto ambiental, se cuantifican los indicadores por superficie construida: el peso (kg/m^2), la energía incorporada (MJ/m^2) y las emisiones de dióxido de carbono equivalente ($\text{kg de CO}_2 \text{ eq.}/\text{m}^2$) a la que nos referiremos en el texto como kgCO_2/m^2 .

El indicador peso por superficie construida se obtiene en primer lugar. Una vez cuantificados los materiales en las clasificaciones establecidas se transforman sus cantidades en unidades de medida kg por m^2 construido. Para ello se aplica el factor de relación, FR (9), que se define para cada material de construcción empleado. Por ejemplo, el ladrillo perforado, se mide en la BCCA en miles de unidades (mu) que tiene un peso de $2100\text{kg}/\text{mu}$ por lo tanto FR del ladrillo perforando es $2100 \text{ kg}/\text{mu}$.

En el caso del indicador de la energía incorporada; se ha recurrido a diferentes bases de datos y publicaciones, seleccionamos aquellos materiales básicos, tanto en sus materias primas como procesos de producción, similares a los materiales de construcción empleados, (17-18).

El tercer indicador, emisiones de CO_2 , se tiene en cuenta:

- La fuente de generación energética tiene su origen en los procesos de combustión de recursos (gas natural petróleo, carbón...), que producen emisiones de CO_2 , y provocan el calentamiento nocivo global del planeta, también conocido como efecto invernadero. Los kgCO_2 se refieren a partir de este punto a kg de CO_2 equivalentes.
- Además, se ha considerado las cantidades en kilogramos de CO_2 emitidas en los transportes de los materiales empleados desde la fábrica hasta el sitio de construcción, con un trayecto de entre 10 a 150 km.

4.- RESULTADOS

4.1.- Impacto ambiental

Una vez identificado el sistema constructivo que vamos a evaluar, se procede a la identificación y cuantificación de los materiales consumido durante el proceso constructivo, para ello se parte de las mediciones desarrolladas en el proyecto de ejecución de una fachada convencional en la que más adelante serán sustituidos los materiales tradicionales por los nuevos desarrollados en el presente proyecto.

Se realiza de forma sintética el proceso metodológico anteriormente planteado para obtener la imagen de los resultados obtenidos en cuanto a la cuantificación del consumo de recursos en la vivienda se detallan en la tabla 2, donde la columna Qt/Sc es la cantidad total del material consumido, expresada en la unidad de mediada empleada en el BCCA (UD) por m² de superficie construida (17).

Una vez identificados los materiales en las clasificaciones establecidas es necesario transformar sus cantidades en unidades comparables, m³/UD, para después aplicar el factor de relación, FR, que transforma las unidades de medida de cada partida en kg por superficie construida. El coeficiente FR se multiplica por los valores correspondientes para obtener el peso por m² de cada uno de los materiales que constituyen el cerramiento.

El siguiente paso es determinar: el coste energético y emisiones de CO₂. Para ello se asigna los valores equivalentes correspondiente al consumo energético expresado en MJ/m² y las emisiones de CO₂, expresadas en KgCO₂/m² definido como el producido en la fabricación y transporte hasta la obra de los recursos materiales empleados en la ejecución. El transporte se considera entre 10 y 150 km de recorrido.

En la tabla 2 se multiplican los kg/m² por el consumo en MJ/kg, para obtener los valores de coste energético en MJ/m². Una vez obtenido el coste energético se multiplica por el indicador de emisiones de CO₂ correspondiente y se obtienen las emisiones en CO₂Kg/m².

Material	Kg/m ²	Energía incorporada (MJ/kg)	Coste energético (MJ/m ²)	Factor de emisiones (kgCO ₂ /MJ)	Emisiones de CO ₂ (kg/m ²)	Residuos (kg/m ²)
Ladrillo perforado	36,76	2,85	104,77	0,3165	33,16	2,206
Poliuretano	0,23	89,33	20,54	0,2615	5,37	0,012
Agua	5,66	0,00	0,00	0,1028	0,00	0,000
Cemento	5,56	6,48	36,03	0,3165	11,40	0,278
Arido	37,90	0,16	6,06	0,0903	0,55	0,379
Cartón-yeso	3,11	6,21	19,34	0,1931	3,74	0,156
Piedra	6,32	0,34	2,15	0,1931	0,41	0,063
Pintura	0,18	24,44	4,47	0,1931	0,86	0,006
Total						3,100

Tabla 2. Cuantificación de impacto de cada material que compone la fachada.

Se puede observar que la fábrica de ladrillo cerámico genera el mayor impacto en consumo energético debido a su fabricación, requiriendo 104,77 MJ/ m². También la fábrica de ladrillo cerámico genera un mayor impacto en relación con las emisiones, 33,16 CO₂Kg/m². Siendo también el componente más pesado de la solución constructiva, lo cual incrementa su consumo de materias primas no renovables. En la energía incorporada y las emisiones de CO₂, se observa un interesante paralelismo debido a que no se emplean energías libres de emisiones o renovables en la fabricación de ninguno de los materiales evaluados.

Un cuarto impacto ambiental a evaluar es la generación de residuos. Partiendo de la medición del proyecto también se puede estimar el volumen de residuos esperado de la ejecución de la fachada para ello emplearemos el modelo de cuantificación de residuos de la construcción en el cual se definen un conjunto de coeficientes de transformación (19).

Una vez hecha la cuantificación del impacto se procede a realizar una solución alternativa a la convencional en el cerramiento de fachada, se trata de sustituir los materiales de mayor impacto por materiales reciclados:

- Sustitución de la fábrica de ladrillo por paneles de hormigón reciclado (13).
- Sustitución del trasdosado del cartón-yeso por paneles de yeso reciclado en cuya composición sólida encontramos cenizas, aglomerante y aditivos (14)

Con las modificaciones propuestas se calculan las variaciones de los indicadores de impacto de cada material y componente constructivo en tablas similares a las empleadas para calcular el impacto inicial de la solución original, se totalizaron los impactos respectivos (peso, energía y emisiones).

El siguiente paso es determinar el coste energético y las emisiones de CO₂. Para ello se asignan los valores equivalentes correspondiente al consumo energético expresado en MJ/m² y las emisiones de CO₂, expresadas en kgCO₂/m², debidos a la fabricación y transporte hasta la obra de los recursos materiales empleados en la ejecución de la fachada. Siguiendo el mismo proceso de la fachada convencional se determinan los valores totales correspondientes al consumo energético y emisiones de CO₂ de los materiales reciclados. En la tabla 3 se cuantifican los impactos considerados.

Material	Componentes	kg/m ²	Energía incorporada (MJ/kg)	Coste energético (MJ/m ²)	Factor de emisiones (kgCO ₂ /MJ)	Emisiones de CO ₂ (kg/m ²)
Hormigón reciclado	Cemento	0,62	6,48	4,02		
	Áridos reciclado	10,21	0,10	1,02		
	Agua	0,96	0,00	0,00		
	Sub-total			5,04	0,3165	1,59
Anclaje	Acero inoxidable	0,02	177	3,54	0,3165	1,12
Total				8,58		2,71
Paneles reciclados de yeso	Cenizas biomasa	2,13	0	0,00		
	Yeso	1,06	2,67	2,83		
	Vermiculita	0,32	4,53	1,54		
	Fibra de vidrio	0,02	29,25	0,58		
	Agua	0,02	0,00	0,00		
	Sub-total				4,95	0,1931
Montante	Acero galvanizado	0,08	41,69	3,33	0,3165	1,05
Total				8,28		2,01

Tabla 3. Desglose por tipologías de cantidades de materiales de construcción usados como materiales alternativos en el sistema constructivo en fachada

El coste energético y emisiones de CO₂ de los materiales reciclados se comparan con los valores materiales convencionales. Se puede observar que al sustituir los materiales convencionales por materiales reciclados se reducen ambos impactos.

Las variaciones alcanzadas en las emisiones de CO₂, mediante las acciones planteadas siguen el mismo comportamiento que las variaciones de energía incorporada. Esto se debe principalmente a que los materiales elegidos emplean energías no renovables en su fabricación.

Un cuarto indicador medioambiental a determinar es el volumen de residuos a ser generados por la fachada. No disponiendo de datos de las cantidades de residuos generados durante la extracción y producción de los materiales, centraremos la evaluación en el peso total de los residuos a generar durante la ejecución de la fachada. Se puede apreciar una disminución de un orden de magnitud en los mismos. En la solución original se generaban 3,1 kg/m² frente a la solución con materiales más ligeros que generan 0,208 kg/m², ya que se han sustituido el ladrillo por placas de hormigón reciclado.

4.2.- Impacto económico

Otro aspecto importante al hablar de sistemas más sostenibles es evaluar el impacto económico de las nuevas propuestas. Para el cálculo del precio del panel de yeso reciclado, que no es un material que se comercialice actualmente, se ha tenido en cuenta la composición en la que se sustituye el 60% del yeso por cenizas de biomasa, por lo que los paneles de yeso son 40% de material convencional. Al sustituir el 60% del material por residuo se reduce el 60% de los costes de materia prima, y los costes de fabricación y transporte permanecen iguales, aproximadamente el coste de las materias primas es el 30% del coste total del material final, por lo que la reducción del precio es del 18% aproximadamente. Para el cálculo del precio del hormigón reciclado hemos utilizado la base de datos del ITEC (18).

4.3.- Impacto social

Los edificios están en primera línea en lo que se refiere a la satisfacción de las necesidades humanas, explícitas o no, especialmente la de cobijo, entendida como soporte para el bienestar, la salud, la productividad y la espiritualidad (20). Por ello un tercer impacto a tener en cuenta al evaluar nuevos materiales es el social o los efectos sociales. Éstos pueden caracterizarse y definirse de muchas maneras.

La siguiente es una definición frecuente de lo que suele entenderse por impacto social: “las consecuencias para las poblaciones humanas de cualquier acción pública o privada que altera el modo en que las personas viven, trabajan, juegan, se relacionan entre sí, se organizan para atender a sus necesidades y, de forma general, reaccionan como miembros de la sociedad. El concepto incluye también el impacto cultural, entendiéndose por tal, entre otras cosas, los cambios en las normas, los valores y las creencias que orientan y racionalizan el conocimiento de las personas sobre sí mismas y su sociedad” (21).

Medir el impacto social que tiene la construcción de las viviendas no es tarea sencilla ya que no son aspectos fácilmente cuantificables como, el medioambiental o el económico. Para reducir el impacto social es necesario contribuir al cambio de

comportamiento que debe producirse en todos los sectores ligados al proceso constructivo. La consideración de los aspectos medioambientales debe formar parte de las decisiones que adopten los promotores (sean grandes empresas o particulares), los profesionales (arquitectos, aparejadores...), los fabricantes de materiales o equipos, los constructores, los propietarios o usuarios de la vivienda o edificación. También los trabajadores del sector pueden contribuir con prácticas adecuadas (utilización de materiales, evitación de residuos...) a la sostenibilidad del proceso (1).

La aplicación de los criterios de sostenibilidad y de una utilización racional de los recursos naturales disponibles en la construcción requerirá realizar unos cambios importantes en los valores que ésta tiene como cultura propia. Estos criterios o, más correctamente, principios de sostenibilidad llevarán hacia una conservación de los recursos naturales, una maximización en la reutilización de los recursos, una gestión del ciclo de vida, así como reducciones de la energía utilizada (3).

5.- CONCLUSIONES

Un primer análisis de los resultados obtenidos nos permite identificar que los materiales cerámicos y los áridos son los recursos que controlan el proceso de fachada representando el 78% de todo el peso del material consumido.

Sin embargo el impacto por emisiones de CO₂ obedece principalmente a la cantidad de energía incorporada al material y no tanto a las propiedades del material, esto se observa en el hecho de que entre el peso y los otros dos indicadores (energía y emisiones) no existe el mismo paralelismo que se da entre estos energía y emisiones. Al utilizar materiales con baja energía incorporada, estaremos reduciendo casi proporcionalmente las emisiones de CO₂. Ya que los materiales analizados no se fabrican empleando energías limpias o renovables. En cuanto al tipo de materiales, los materiales cerámicos requieren de una importante incorporación de energía y en consecuencia generan grandes emisiones.

Por otro lado el trasdosado de cartón-yeso aunque tiene reducido peso, requiere de una importante incorporación de energía y en consecuencia generan importantes emisiones de CO₂. Al realizar las sustituciones de materiales se logran significativas reducciones de energía incorporada y emisiones.

Observando los resultados obtenidos en este estudio, en el cual las propuestas se refieren a sustituciones de materiales convencionales por materiales reciclados, se ha llegado a disminuciones en los impactos que en algunos casos se acercan al 70%. Lo cual permite concluir que se pueden lograr en las etapas de extracción, producción y gestión de residuos de los materiales de construcción importantes reducciones como las que se alcanzan cuando se interviene en la etapa de uso y mantenimiento de los materiales.

En la evaluación queda demostrado de forma cuantitativa que al utilizar una solución alternativa a la convencional donde se emplean materiales reciclados se minimizan sus consecuencias ambientales, satisfaciendo adecuadamente las demandas de construcción de una comunidad sin hipotecar las posibilidades de las generaciones futuras para disponer de los recursos adecuados y de un medio ambiente de calidad.

Las conclusiones anteriormente citadas, así como la metodología seguida en el presente trabajo pretende ser extensible a soluciones alternativas a las convencionales en el cerramiento de fachada, donde podemos comparar los resultados que se obtengan siguiendo el modelo de “cuantificación de recursos consumidos”, a fin de verificar si efectivamente se minimiza el impacto generado y por tanto los cambios que se incorporan suponen un avance hacia la deseada meta del desarrollo sostenible.

AGRADECIMIENTO

Esta investigación se ha realizado dentro del proyecto ARCEVA, subvencionado por la Junta de Andalucía, Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio (Boja n^o 94 del 13 de mayo de 2008).

BIBLIOGRAFÍA

- (1) A. Baño Nieva, A. Vigil-Escalera Del Pozo. Guía de Construcción Sostenible. Edición ISTAS, Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud, 2005
- (2) Alvedra, P., Domínguez, J., Gonzalo, E., Sarra, J.: “La Construcción Sostenible. El Estado de la Cuestión”. Ciudades para un futuro más sostenible (1998). Edita: Instituto Juan de Herrera. MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X <http://habitat.aq.upm.es/boletín/n4/apala.html>. Consultado: 25/03/2011
- (3) Argüello Méndez, T. R., Cuchí Burgos, A.: “Análisis del impacto ambiental asociado a los materiales de construcción empleados en las viviendas de bajo coste del programa 10 x10 Con Techo-Chiapas del CYTED”. Informes de la construcción, Vol 60 n^o 509(2008), pp. 25-34
- (4) Real Decreto 105/ 2008, de 1 de Febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.
- (5) Agamuthu, P. “Challenges in sustainable management of construction and demolition waste”, Waste Management and Research, vol.26(6), pp. 491-492, 2008.
- (6) I. Pérez Bernal. Eco productos: en la arquitectura y el diseño. P 252, AxE-Arquitectura y entorno S.L., Barcelona, 2008.
- (7) EN 450-1:2005. Cenizas para hormigones. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad. Comité Europeo de Normalización (CEN), Bruselas, 2005.
- (8) Radian Canada, Inc. And CANMENT. Investigation of high-volume fly ash concrete systems. EPRY Report n^o TR-10315, 1993.
- (9) Mercader Moyano, P., Marrero, M., Solís Guzmán, J., Montes Delgado, M. V., Ramírez de Arellano, A.: “Cuantificación de los recursos materiales consumidos en la ejecución de la Cimentación”. Informes de la Construcción, Vol. 62, n^o 517(2010), pp. 125-132. doi: 10.3989/ic.09.000
- (10) M. D. Alba Rodríguez, Trabajo Fin de Máster: “Aislamiento térmico y reciclaje en fachadas para reducir el consumo energético de las viviendas en Andalucía”. E.T.S. de Ingeniería de Edificación, Universidad de Sevilla 2009.
- (11) J. F. Espejo Escudero, Proyecto Fin de Carrera: “Aislamiento y reciclado de subproductos de la generación de energía y de residuos de demolición como elementos

constructivos de separación”. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla. 2009.

(12) Leiva, C., Vilches, L. F., Vale, J., Fernández Pereira, C. (2007): “*Fire-Resistance of Biomass ash panels used for internal partitions in buildings*”. *Fire Safety Journal*. Vol 44 (2009). pp. 622-628.

(13) C. Leiva Fernández. Tesis “Desarrollo y especificaciones técnicas de productos ignífugos fabricados a partir de residuos industriales, para su uso como elementos constructivos de separación”. Universidad de Sevilla, 2006.

(14) Catálogo de Elementos Constructivos del CTE. Ministerio de la Vivienda. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC. Madrid, 2008.

(15) Marrero, M., Ramirez-de-Arellano, A.: “*The building cost system in Andalusia: application to construction and demolition waste management*”, *Construction Management and Economics*, Vol. 28, (2010) pp. 495–507.

(16) Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio. Base de Costes de la Construcción de Andalucía 2010. Junta de Andalucía, 2010.

(17) A.Cuchí i Burgos, I. López Caballero. Informe MIES: una Aproximación al impacto Ambiental de la Escuela de Arquitectura del Vallés. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).Barcelona, España, 1999.

(18) ITEC,2005, Metabase-TCQ 2000: Datos Ambientales. ITEC. Barcelona, Cataluña.

(19) Solís-Guzmán, J., Marrero, M., Montes-Delgado, M. V., Ramírez-de-Arellano, A.: “A Spanish model for quantification and management of construction waste”. *Waste Management* Vol. 29 (2009) pp. 2542–2548. doi:10.1016/j.wasman.2009.05.009

(20) Tendero, R., García de Viedma, M.: “Edificación par un desarrollo sostenible: una actividad modal”. *Informes de la Construcción*. Vol. 63 No. 521, (2011) pp. 75-87. doi: 10.3989/ic.09.043

(21) Vanclay, F.: “Principles for social impact assessment: A critical comparison between the international and US documents”, *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 26, (2006) pp. 3-14.