

**REDUCCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LA EDIFICACIÓN  
MEDIANTE LA SELECCIÓN CONSCIENTE DE MATERIALES  
DE CONSTRUCCIÓN: EL CASO DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR  
CONSTRUIDA EN TIERRA (TÉCNICA DE LA TAPIA)  
EN EL PREPIRINEO ARAGONÉS**

Àngels CASTELLARNAU<sup>1</sup>

RESUMEN.— La *energía incorporada* en la edificación corresponde a la energía primaria consumida en la extracción, manipulación, transporte, puesta en obra y uso de los materiales de construcción, y la cuantificación de gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera a lo largo de la vida útil del edificio nos informa del potencial de calentamiento global derivado de este. La edificación *casi cero emisiones* pretende reducir el impacto ambiental de esta en todas sus fases (construcción, uso y demolición): la mochila ecológica de los materiales de construcción es considerable y la manera más eficiente de reducirla es utilizar materiales locales (kilómetro 0) poco manipulados. La tierra como material de construcción nos ayuda a conseguir un menor impacto ambiental de nuestras edificaciones, como lo hizo en el pasado. El presente artículo comparativo evalúa parte del impacto ambiental, en fase de construcción, de un edificio diseñado de forma convencional frente al mismo edificio diseñado y construido en tierra (técnica de la tapia) y con estrategias para la reducción consciente de dicho impacto.

ABSTRACT.— Building's *embodied energy* corresponds to the primary energy consumption during the extraction, manipulation, transportation,

---

<sup>1</sup> Doctoranda en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona (Universitat Politècnica de Catalunya) y codirectora de EDRA Cultura y Natura. [angels@edraceuturaynatura.com](mailto:angels@edraceuturaynatura.com)

installation and use of building materials. Quantification and study of carbon and greenhouse gases emissions over the whole life of the building reports us information of the global warming potential of the building. *Near-zero emissions buildings* aim to reduce their environmental impact: building material's *ecological rucksack* is heavy, and the most efficient way to lighten its load is using local and little handled materials. Earth, as a building material, may help to achieve a lower environmental impact of our buildings, as it did in the past. The present comparative study evaluates part of the environmental impact in the construction stage of a conventional designed building versus the same building built and designed in rammed earth and with aware strategies for reducing this impact.

KEY WORDS.— Earth building, building embodied energy, CO<sub>2</sub> emissions, life-cycle analysis, Aragonese Prepyrenees (Spain).

## INTRODUCCIÓN

Los flujos de los recursos que tienen lugar en los procesos edificatorios permiten relacionar la edificación con su incidencia medioambiental.

A lo largo de la historia, se han ido sustituyendo los materiales locales por otros que se obtienen por procedimientos de extracción más agresivos que provienen de zonas más alejadas y que conllevan un proceso de producción más sofisticado. Estos materiales suponen un mayor coste energético y un mayor impacto ambiental. La cuantificación de estos impactos permite la evaluación de las futuras mejoras.

En España, en el año 2006, aparece el Código Técnico de la Edificación (CTE, de obligado cumplimiento) que persigue la limitación de la demanda energética de los edificios. En su desarrollo, se ha implementado la etiqueta energética que permite, a partir de la aplicación de los programas LIDER y CALENER, la cuantificación de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la fase de uso de la edificación a evaluar en fase de proyecto.

En el año 2013, entra en vigor la modificación del CTE en su documento básico HE relativo a la justificación de la eficiencia energética de la edificación, lo que supone la aparición de la certificación energética con la emisión de la etiqueta energética correspondiente a la edificación una vez ya construida, en relación con el uso del edificio.

Hasta la fecha no existe normativa que incida en el cierre de ciclo de materiales y la cuantificación de los impactos derivados de la construcción del edificio.

La obtención de datos de los ciclos de vida de los materiales es de gran complejidad, pero existen bases de datos a nivel europeo y español que permiten hacer un pre-dimensionado y, como en este caso, un estudio comparativo. Este estudio permite detectar los puntos débiles en cuanto a gasto energético y emisiones de CO<sub>2</sub> de los sistemas constructivos que utilizamos y evaluar posibles mejoras.

A pesar de que los datos absolutos difieren de la realidad, puesto que los datos precisos del ciclo de vida de los materiales varían según la localización de la obra y la procedencia exacta de los materiales colocados en obra, a partir de los datos que tenemos podemos realizar:

- Una evaluación del consumo global energético y de emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo del ciclo de vida de los materiales utilizados en la construcción de un edificio concreto, con el fin de evaluar la eficiencia energética de la fase de construcción.
- Un estudio comparativo de impacto ambiental de los sistemas constructivos.
- Cuantificar la incidencia en el impacto de la selección de los materiales del edificio con criterios de reducción del consumo energético y emisiones a lo largo de su ciclo de vida.
- Impulsar sistemas constructivos de baja carga energética, como es el caso de la construcción con tierra, basándose en su bajo impacto ambiental.

En este caso, dado que no se cuenta con una base de datos que recoja los datos del sector productivo de materiales de construcción en Aragón, se ha utilizado la base de datos metaBASE del Instituto de Tecnología de la Construcción de Catalunya (ITeC), en concreto el Banco BEDEC (edición del año 2013). Esta base de datos nos proporciona información de los indicadores de gasto energético y emisiones de CO<sub>2</sub> de los materiales y de los procesos de ejecución utilizados de cada elemento o sistema constructivo.

El objetivo general de la investigación es demostrar y cuantificar la reducción de la energía incorporada en fase de construcción de una vivienda gracias a la utilización de la tapia como muro de carga y cerramiento de fachada y la sucesión de estrategias con criterio de reducción del impacto ambiental derivadas de este cambio de sistema constructivo.

Los objetivos específicos son:

- La cuantificación del gasto energético y de las emisiones de CO<sub>2</sub> del sistema constructivo de la tapia en comparación con un sistema de muros de carga de bloque cerámico aligerado tipo termoarcilla y capas de trasdosado y aislante.
- La identificación de los capítulos de la obra en los que la selección consciente de materiales supone una reducción significativa de las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la construcción de una edificación concreta.

## METODOLOGÍA

Se redacta un Proyecto Básico y de Ejecución de una vivienda unifamiliar entre medianeras en el que se detallan los elementos constructivos en el año 2013 que cumple las prescripciones del CTE vigente en esa fecha. La vivienda estudiada está ubicada en la localidad de Ayerbe (Huesca), en el Prepirineo aragonés, al noreste de la península ibérica.

La zona climática en la que se ubica la edificación según la clasificación Köppen es una Cfa, que corresponde a un clima templado sin estación seca con un verano caluroso.

A partir de las mediciones redactadas para el proyecto de la vivienda, se plantean sendas hipótesis.

En la primera hipótesis (o proyecto original), los muros de carga de las plantas baja y primera se resuelven mediante un muro de triple hoja. La hoja interior es de bloque cerámico aligerado tipo termoarcilla, la intermedia un aislamiento térmico de poliestireno extrudido y la hoja exterior de ladrillo hueco doble cerámico, una solución constructiva de fachada convencional.

En la segunda hipótesis, se sustituye el muro de carga por un muro de tapia hecha a base de una mezcla de tierra y paja local y calicostrada (revo-co o costra que se construye a la vez que la tapia) con mortero de cal.

Se obtienen los valores globales de gasto energético y emisiones de CO<sub>2</sub>, dos de los indicadores de impacto ambiental de los que podemos obtener datos y que son esclarecedores a la hora de obtener conclusiones en un estudio comparativo como el presente. A continuación, se acotan los capítulos de las mediciones que no varían en función del sistema constructivo, y que serán una constante.

De la base de datos BEDEC se obtienen los de los sistemas constructivos; los que no aparecen en esa base se crean mediante los datos unitarios, obteniendo por asimilación tanto los datos de los materiales como los de su puesta en obra.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### *Descripción de los sistemas constructivos*

La vivienda unifamiliar evaluada consta de una planta semienterrada, una planta baja y otra bajo cubierta (figs. 1 y 2). A continuación, se describen sendas hipótesis y sus sistemas constructivos:

*Hipótesis 1.* Esta hipótesis corresponde a una edificación convencional, construida con los materiales y los sistemas constructivos habituales en la actualidad y en la zona.

Se trata de un edificio de muros de carga de bloque de cemento armado y relleno de hormigón, que arranca desde una cimentación corrida de hormigón armado bajo muros, uno de ellos contiene una calle por la que circulan vehículos. Sobre estos muros se construye un forjado unidireccional de semiviguetas de hormigón armado y bovedilla de cemento. Sobre los muros arrancan los muros de carga de bloque cerámico aligerado de 24 centímetros en la hoja interior, un aislamiento de poliestireno de 5 centímetros y una hoja exterior de ladrillo hueco doble cerámico. El revestimiento exterior será un revoco de mortero de cemento y el interior un enyesado.

Las estructuras de techo de planta baja y de cubierta se resuelven mediante forjados unidireccionales de semiviguetas de hormigón y bovedilla de



**Fig. 1.** Fachada suroeste de la vivienda construida en tapia.





**Fig. 2.** Interior de la vivienda construida en tapa.

cemento. El aislamiento de cubierta será de 5 centímetros de poliestireno extrudido y la cobertura de teja cerámica mixta.

La carpintería exterior es de aluminio con vidriería de doble vidrio con cámara.

*Hipótesis 2.* Se construyen los muros de sótano y su cimentación a base de hormigón en masa. En la cabeza de estos muros se construye un zuncho de hormigón armado en el que descansa un forjado de vigueta de hormigón armado, rasillón cerámico y capa de compresión de 5 centímetros. Sobre estos muros arranca un muro de tapia de 45 centímetros de tierra y paja locales, construido con costra interior y exterior de mortero de cal.

Los forjados de techo de planta baja y la cubierta son de madera asebrada y descargan en unos zunchos de madera embebidos en la tapia. En la cubierta se colocará un aislamiento de lana de oveja y una impermeabilización transpirable. La cobertura es de teja cerámica mixta.

La carpintería exterior se coloca de madera de pino con vidriería con cámara tipo Climalit.

Los criterios de selección de materiales de esta hipótesis se basan en la cercanía de extracción y producción de los materiales, en su naturalidad debido a la inexistencia de aditivos o tratamientos y en su poca manufactura.

### *Identificación de las partidas constantes y variables*

Se han considerado partidas constantes las partidas de la medición que no varían al cambiar el sistema constructivo, como instalaciones, cobertura, vidriería...

Las partidas variables son aquellas sobre las que se puede incidir significativamente con el fin de reducir los impactos energéticos.

En este caso la solución del muro de carga de tapia (incluido en el capítulo de estructura) repercute en otros sistemas como la estructura horizontal (estructura) o los muros de carga / contención del sótano (estructura) y sus cimientos de hormigón en masa (cimentaciones), cambio del que se deriva una cascada de modificaciones.



Al proyectar con *sensibilidad* frente al impacto ambiental se adoptan una serie de medidas que corrigen el valor total de los impactos; es decir, al sustituir los muros de carga por muros de tierra se eliminan (por una cuestión de concepto del sistema constructivo) los forjados de vigueta de hormigón armado que cargan sobre los muros de tierra, y se opta por unos forjados más ligeros y significativamente menos rígidos de viguetas de madera de pino aserrada y tabla de madera de pino.

Este cambio en el sistema constructivo de los forjados supone una minoración de las solicitaciones en la cabeza de los muros y una reducción de los empujes tanto verticales como horizontales. El muro de tapia se dimensiona de manera que con su espesor absorbe estos empujes. Los muros de sótano se construyen de la misma anchura, pero de hormigón en masa, así como la cimentación corrida bajo los muros. Al eliminar el hierro en los muros se busca reducir significativamente el impacto ambiental.

Otras estrategias de corrección devienen de la compatibilidad de materiales. Por ejemplo, al construir los huecos en la tapia con premarcos / cajones de madera, estos quedan embebidos en el muro y es consecuentemente más compatible la colocación de carpinterías de madera. Del mismo modo, se sustituyen los revocos de mortero de cemento por revocos de mortero de cal, material más compatible con la tierra del interior de los muros.

Otro cambio significativo que deriva de la utilización de madera en los forjados de cubierta consiste en la sustitución de las láminas impermeables de epdm y los aislantes de poliestireno por otras láminas y aislantes transpirables para evitar condensaciones y, consecuentemente, la posible aparición de mohos y xilófagos que ataquen la madera. Por ello, se opta por la colocación de láminas transpirables de butilo y aislantes de lana de oveja y corcho natural, todos ellos compatibles al contacto con la madera.

#### RESULTADOS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA CONSTRUCCIÓN

La vivienda cuenta con una superficie construida de 96,7 m<sup>2</sup> de sótano y de 179,5 m<sup>2</sup> de vivienda. En total se trata de una edificación de 276,2 m<sup>2</sup> de superficie construida.

A continuación, se desglosan los datos de los impactos asociados a la construcción de la vivienda de forma comparativa entre ambas hipótesis.

### *Peso de los materiales de la construcción*

Según los datos obtenidos (tabla I), el peso de los materiales de construcción en la hipótesis 1 supone 2259 kilogramos de materiales por metro cuadrado de edificación, y en la hipótesis 2, 1858 kilogramos, es decir, la hipótesis 2 pesa un 18% menos que la hipótesis 1.

**Tabla I.** Desglose del peso de los materiales usados en cada subsistema de la construcción para sendas hipótesis.

	<i>Hipótesis 1 (kg)</i>	<i>Hipótesis 2 (kg)</i>
Cimentación y saneamiento enterrado	129 886,55	128 764,20
Estructura	371 188,92	313 656,51
Albañilería	27 576,99	17 420,33
Cubierta	11 590,28	11 590,28
Aislamiento e impermeabilizaciones	2332,43	1158,26
Revestimientos y pavimentos	72 396,21	29 351,48
Carpintería y cerrajería	2665,63	2626,96
Pintura	122,52	122,52
Instalaciones	4053,35	4053,35
<i>Total</i>	623 944,03	513 228,42

### *Energía incorporada (o coste energético) de los materiales y procesos constructivos*

A partir de los datos obtenidos (tabla II), el coste de energía de los materiales de construcción en la hipótesis 1 supone 4277 megajulios por metro cuadrado de edificación, y en la hipótesis 2, 2138 megajulios, es decir, la hipótesis 2 tiene un coste energético de un 50% menor que la hipótesis 1.

### *Emisiones de CO<sub>2</sub>*

De acuerdo con los datos obtenidos (tabla III), la emisión de kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalentes de los materiales de construcción en la hipótesis 1 supone 607,3 kilogramos de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> de edificación, y en la hipótesis 2, 236,6 kilogramos, es decir, la hipótesis 2 emite un 61% menos de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes por metro cuadrado que la hipótesis 1.

**Tabla II.** Desglose de la energía incorporada a la fabricación y puesta en obra de los materiales usados en cada subsistema de la construcción para cada hipótesis.

	<i>Hipótesis 1 (MJ)</i>	<i>Hipótesis 2 (MJ)</i>
Movimiento de tierras	6875,80	6875,80
Cimentación y saneamiento enterrado	75 757,91	59 983,20
Estructura	565 162,20	250 160,50
Albañilería	43 675,88	22 157,52
Cubierta	32 444,93	32 444,93
Aislamiento e impermeabilizaciones	158 149,67	55 212,05
Revestimientos y pavimentos	60 900,28	22 813,63
Carpintería, vidriería y cerrajería	166 323,95	68 941,38
Pinturas	11 718,02	11 718,02
Instalaciones	60 315,02	60 315,02
<i>Total</i>	1 181 323,67	590 622,06

**Tabla III.** Desglose de los kilogramos de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes derivadas de la fabricación y puesta en obra de los materiales usados en cada subsistema para cada hipótesis.

	<i>Hipótesis 1 kg de CO<sub>2</sub></i>	<i>Hipótesis 2 kg de CO<sub>2</sub></i>
Movimiento de tierras	1795,47	1795,47
Cimentación y saneamiento enterrado	42 116,87	9383,18
Estructura	56 288,80	26 909,87
Albañilería	4482,17	2306,33
Cubierta	3490,18	3490,18
Aislamiento e impermeabilizaciones	23 329,65	7310,95
Revestimientos y pavimentos	6230,31	1841,54
Carpintería, vidriería y cerrajería	22 487,31	4785,00
Pinturas	1728,88	1728,88
Instalaciones	5801,37	5801,37
<i>Total</i>	167 751,02	65 352,77

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En general, cabe destacar que a pesar de que la hipótesis 2 supone una reducción de un 18% del peso global de la edificación, la reducción de la energía incorporada o coste energético y de las emisiones de CO<sub>2</sub> es de un 50%. Esto demuestra que el peso de los materiales no es proporcional al coste energético o a las emisiones de CO<sub>2</sub> necesarios para su fabricación y puesta en obra.

### *Peso de los materiales de la construcción*

De los datos obtenidos se deduce que la construcción de la hipótesis 1 supone 2260 kg/m<sup>2</sup> de construcción, y la de la hipótesis 2, 1500 kg/m<sup>2</sup>. La media de kilogramos de materiales de construcción por metro cuadrado de edificación en España está en 2792,8 kg/m<sup>2</sup>.

Hay que tener en cuenta que la construcción convencional en España en la última década se basa en el desplazamiento de la masa de los muros existente en la arquitectura tradicional española a los forjados.

Este dato revela que los argumentos que defienden esta tendencia se contradicen con la realidad, puesto que se ha pretendido aligerar los muros con el fin de reducir el peso, pero la edificación en este clima obliga a la construcción masiva de los muros para protegerse del clima y esta es la forma en que se resuelve en la construcción española convencional actual.

Por otro lado, en la construcción de la hipótesis 2, el peso derivado de los muros de hormigón en masa del sótano podría en parte haberse resuelto en tapial con el fin de reducir su peso, pero en el proyecto no se estimó oportuno por una mejor organización de la obra.

Asimismo, por cuestiones de accesibilidad en la puesta en obra, los muros de medianería y de traba de la hipótesis 2 se han tenido que resolver mediante muro de bloque cerámico aligerado, lo que supone un peso inferior que si se hubiese resuelto todo mediante tapia.

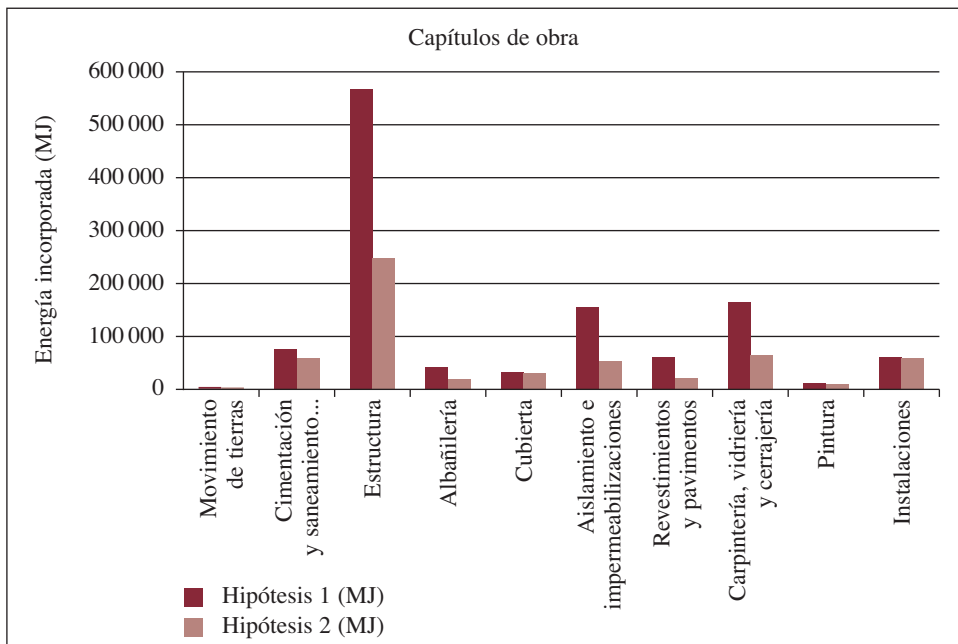
Aun así se considera que los condicionantes particulares de esta edificación se pueden equiparar a los que pueden surgir en cualquier edificación actual a construir en medio urbano, con los usos actuales de la edificación y cumpliendo la normativa de la edificación vigente.

*Energía incorporada (o coste energético)  
de los materiales y procesos constructivos*

Los subsistemas que más inciden en el cómputo global del coste energético son la estructura (vertical y horizontal) y la carpintería (fig. 3).

En cuanto a la estructura, la selección de materiales masivos con un bajo grado de manufactura permite, como veremos, una reducción significativa de la energía incorporada, así pues la tierra (0 kilómetros) y la madera aserrada (150 kilómetros) cuentan con una energía incorporada significativamente inferior a cualquier material industrializado y comercializado que pueda resolver estas partes de la obra.

Sus componentes se extraen directamente de la naturaleza mediante procesos energéticamente poco costosos, el transporte está localizado (de 0 a 150 kilómetros) y en este caso el proceso de manufactura se realiza en un único emplazamiento (en el caso de la madera 1, en aserradero) y se transporta directamente a la obra.



**Fig. 3.** Comparativa de energía incorporada en los materiales como consecuencia de su fabricación y puesta en obra en las hipótesis 1 y 2.

Por otro lado, merece la pena desglosar los datos del muro de fachada con el fin de evaluar de forma más pormenorizada los valores obtenidos (tabla IV).

De la comparación de los valores obtenidos para sendos sistemas constructivos de fachada, podemos afirmar que el muro de tapial permite un ahorro del 64% de energía incorporada a los materiales de construcción y su puesta en obra.

La introducción de materiales plásticos (poliestireno, pvc, poliuretano, polipropileno...) y algunos metales (aluminio) en los últimos decenios en los sistemas constructivos supone un aumento significativo de la energía incorporada a nuestros edificios; estos materiales contienen una energía incorporada de entre 40 y 180 megajulios por kilogramo (ROVIRA, 1999). Estos materiales se van extendiendo y desarrollando cada vez papeles más específicos en la edificación, lo que explica su crecimiento.

El desarrollo de este tipo de materiales, no naturales e imposibles de integrarse en los ciclos de la biosfera, nos hace más dependientes del control de la industria sobre los sistemas constructivos, lo que supone una mayor tecnificación, por tanto, manufactura e impacto ambiental, sin entrar en la obtención del material ni por supuesto en su reciclaje.

**Tabla IV.** Comparativa de la energía incorporada y de los kilogramos de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes derivadas de la fabricación y puesta en obra de los sistemas de fachada para cada hipótesis.

	<i>MJ</i>	<i>kg de CO<sub>2</sub></i>
<i>Muro de fachada en la hipótesis 1</i>		
Pared de cerramiento de bloque de cerámica aligerada (24 cm)	109 741,69	8880,22
Tabicón de ladrillo hueco doble con 7 cm de espesor	31 517,64	3186,93
Aislamiento con placas de poliestireno extrudido (E = 5 cm)	16 133,85	2382,13
Enforcado con mortero de cal (exterior)	4261,00	677,20
Enyesado a buena vista sobre paramento vertical interior	372,06	289,97
<i>Total</i>	164 926,24	15 416,45
<i>Muro de fachada en la hipótesis 2</i>		
Muro tapial calicostrado dos caras de tierra natural	60 202,89	5135,03
<i>Total</i>	60 202,89	5135,03



Se escapa de este estudio, por falta de datos, la cuantificación de la energía necesaria para el cierre del ciclo de los materiales, que correspondería en el caso de estas fachadas a la demolición, reutilización o, en su defecto, reciclaje de los materiales que intervienen en los muros.

Se puede intuir que el material del muro de tapial (mortero de cal con arena local y tierra local estabilizada con paja) solo conllevará la energía necesaria para su demolición y transporte de vuelta a la naturaleza. Mientras que en la demolición de los muros de termoarcilla, con los yesos y cementos adheridos y la separación del poliestireno, el cierre del ciclo material supondrá seguro un mayor coste energético.

En cuanto a la estructura horizontal, los sistemas con peores valores asociados son los forjados, las vigas y los zunchos de hormigón armado. La utilización de forjados y zunchos de madera aserrada supone una reducción del 83% de la energía incorporada a los materiales y sistemas constructivos de estructura horizontal.

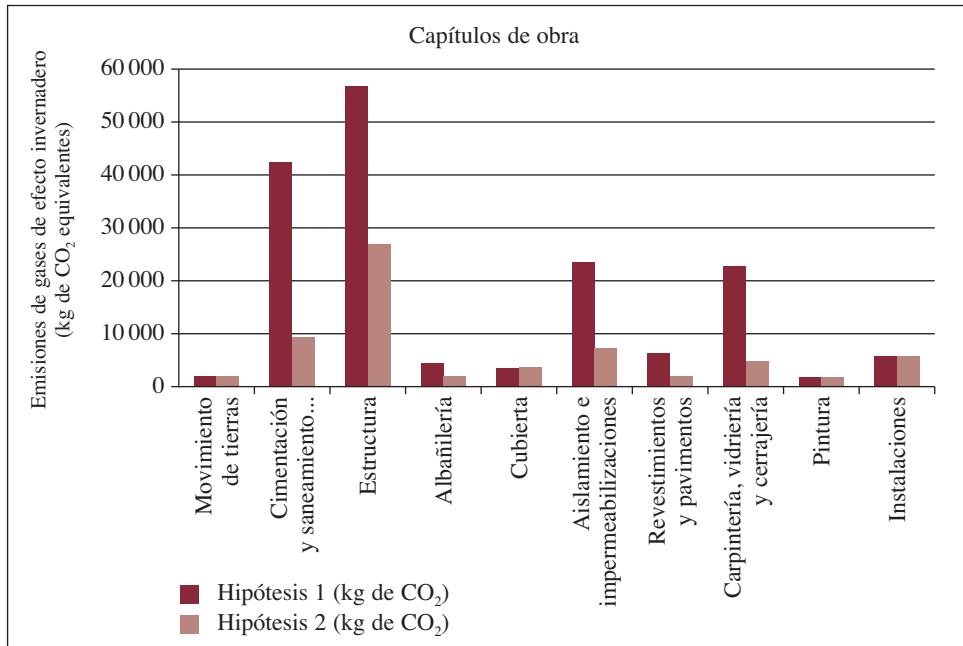
Una vez más, en caso de evaluar el cierre de ciclos materiales, la madera es de fácil reutilización en luces de hasta 4 metros en el ámbito residencial y en su caso es de fácil reciclado.

### *Emissiones de CO<sub>2</sub>*

En el caso de las emisiones de CO<sub>2</sub>, vemos que los aislamientos plásticos (en este caso, poliestireno), y todavía más significativamente las láminas impermeables de las cubiertas (en este caso, EPDM —caucho de etileno propileno dieno—) de la hipótesis 1, suponen por sí mismas un vertido de unos 15 000 kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente a la atmósfera (fig. 4).

Esto se ha corregido en la hipótesis 2 mediante la colocación de aislamientos naturales de paja de cebada, lana de oveja y corcho y mediante la colocación en cubierta de una lámina transpirable de polipropileno muy ligera.

De la misma manera que en el caso de la energía incorporada, el acero y el cemento vierten el doble de kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente que la estructura de tierra y madera; y como se observa en la tabla IV, el subsistema del muro de fachada vierte, en el caso de la utilización de piezas



**Fig. 4.** Comparativa de kilogramos de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes producidas a causa de la fabricación y puesta en obra de los materiales de construcción en las hipótesis 1 y 2.

cerámicas prefabricadas y un aislante de poliestireno, tres veces los kilogramos de CO<sub>2</sub> que vierte la ejecución del muro de tapia calicostrado.

Por último, destaquemos que la carpintería de aluminio, al igual que en relación con el coste energético, incide muy significativamente en las emisiones de kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente, evitando en este caso de estudio el vertido de un 80% de gases a la atmósfera con la colocación de carpintería de madera. Y suponiendo por sí mismas un 17% del total de kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente vertidos derivados de la fabricación y puesta en obra de los materiales de construcción en la vivienda (hipótesis 1).

## CONCLUSIONES

El hecho de utilizar bases no adaptadas localmente hace que no se pueda precisar la energía incorporada de los materiales locales y poco o nada manufacturados (grava, cal, madera, tierra, paja, aislamiento de lana de

oveja, revocos de arcilla). Por no tener estos datos se han despreciado estos matices en el cómputo global que seguro mejorarían significativamente los resultados.

La edificación con tierra posibilita la reintroducción de los materiales locales en los sistemas constructivos, a la vez que permite reducir a un tercio las emisiones de CO<sub>2</sub> vertidas a la atmósfera y a un cuarto la energía incorporada como consecuencia de la construcción de una fachada.

La aplicación de sistemas de construcción con tierra permite una serie de adecuaciones del resto de sistemas de la edificación que supone menor rigidez estructural y una menor industrialización de los materiales, dando cabida a materiales existentes en la construcción tradicional, ya sea tanto de carácter orgánico como inorgánico. Estos materiales, al no requerir de procesos de industrialización, al final de su vida útil son fácilmente reintroducibles en la biosfera, por lo que prácticamente se consigue el cierre de su ciclo material y se reduce significativamente el impacto ambiental derivado de la construcción.

La evolución de las técnicas de tierra, para que estas sean competitivas en cuanto a la evaluación del impacto ambiental, debe evitar la introducción de materiales plásticos, metales y cemento.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ, L. (coord.) (2004). *Análisis de los impactos ambientales asociados a los materiales de construcción empleados en la edificación en la isla de Lanzarote y propuesta desde una perspectiva ambiental*: 122. Life Lanzarote 2001-2004. Cabildo de Lanzarote. Programa MAB UNESCO.
- CUCHÍ, A. (2005). *Arquitectura i sostenibilitat*. Ediciones UPC (Temas de Tecnologia i Sostenibilitat, 2). Barcelona.
- ROVIRA, J. L. (1999). *Guía de la edificación sostenible: calidad energética y medioambiental en edificación*. Institut Cerdà. Barcelona.