

# LA IMPORTANCIA DE LA CONSTRUCCIÓN EFICIENTE EN LA PATAGONIA

*Cuando los edificios no son térmicamente eficientes, el alto consumo cotidiano de energía supera en muy poco tiempo toda la energía usada en la fabricación de los materiales de construcción.*

**Alejandro Daniel González**

Veremos aquí valores de energía usada y de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos en la fabricación de algunos materiales de construcción, y los compararemos con la energía y GEI emitidos en el consumo cotidiano de una casa. El estudio focaliza en la Patagonia Andina, en las ciudades de Bariloche y El Bolsón, aunque es de aplicación general. Se busca entender los impactos energéticos de la elección de distintos materiales, convencionales y naturales, y la importancia relativa respecto al uso cotidiano de energía en la vivienda.

## Consumo directo e indirecto

Cuando se habla de consumos energéticos derivados de actividades humanas se puede distinguir entre directos e indirectos. Por directos se entienden los consumos de combustibles y electricidad que se realizan para el funcionamiento cotidiano; y por indirecto se entiende la energía que se ha usado para fabricar, trasladar y adoptar los productos que usamos; es decir, se reconoce una inclusión o un contenido de energía en cada producto. Veamos algunos ejemplos.

Las investigaciones muestran que la energía que se utiliza y los gases de efecto invernadero que se liberan en la fabricación de un automóvil moderno igualan al impacto de usar el automóvil 50.000 kilómetros. Para la fabricación de una computadora portátil (o notebook), la energía y GEI implicados (impacto indirecto) igualan el consumo de electricidad de usarla durante

cinco años (impacto directo). De la misma forma se puede pensar a todos los productos que nos rodean, como "contenedores" de la energía que se usó para ponerlos en nuestras manos. Esta energía y sus consecuentes GEI se denominan *embodied* en inglés, y se puede traducir como incluida o incorporada al producto en el camino anterior a comprarlo, por eso se llama uso indirecto. Después se sumará el consumo del uso en el día a día, llamado uso directo.

¿Cuáles son los porcentajes de impacto directo e indirecto de un consumidor promedio? Más o menos 50% directo y 50% indirecto. Esto tiene variaciones según el país pero, en general, la variación depende principalmente del nivel de ingresos económicos. Para los ingresos altos en general el 70% es indirecto y el 30% directo; y para los ingresos bajos es al revés. Es decir, los consumidores de más altos ingresos usan más energía y emiten más GEI en la adquisición de productos que en su uso cotidiano.

Estos conceptos se aplican de la misma forma en la construcción. Hacer una casa requiere de materiales y mano de obra y, en cada ladrillo, en cada balde de arena, en los transportes, en las terminaciones, los vidrios, etcétera, hay contenidos energía y emisiones de GEI. Éstos fueron consumidos y emitidos antes de habitar la casa y comenzar el consumo directo cotidiano de gas, electricidad o leña. Para los edificios, es notable que los porcentajes directo e indirecto dependan mucho de su eficiencia térmica. Por ejemplo, en Bariloche, si la casa no tiene aislamiento térmico, la energía en calefacción en sólo un invierno puede superar la energía usada para fabricar y transportar todo el cemento de la casa.

## ¿Tenemos casas eficientes?

La respuesta será negativa o positiva dependiendo del diseño térmico del edificio. En la actualidad, diversos estudios muestran que en Argentina y Chile la construcción es muy ineficiente: se usa excesiva energía en calefacción en invierno y excesiva energía en aire acondicionado en verano. En la construcción se evalúan con buenos criterios los aspectos estructura-

**Palabras clave:** energía, edificios, materiales de construcción, impacto ambiental

**Alejandro Daniel González**

Dr. en Física, Investigador CONICET  
gonzalezad@comahue-conicet.gob.ar

Recibido: 19/09/14. Aceptado: 20/11/14

les, las condiciones para soportar sismos, las aislaciones necesarias para el control de la humedad y los aspectos de estética y de confort. Sin embargo, una casa puede estar bien hecha, ofrecer confort y hasta ser lujosa, pero al mismo tiempo puede tener grandes pérdidas de energía. Cuando la eficiencia térmica no está resuelta, en invierno, el confort se logra con las estufas a gas o a leña y en verano con el funcionamiento del aire acondicionado. En los dos casos disfrutamos de confort en base a uso de energía, y no en base a buen diseño térmico.

### **Pero, ¿cuál es un buen diseño térmico?**

Un buen diseño térmico es aquel que abriga a la casa, impidiendo que el calor fluya rápidamente entre el exterior y el interior. En invierno, un abrigo no deja escapar el calor hacia fuera; y en verano, no permite que las superficies calentadas por el sol difundan su exceso de energía hacia adentro.

¿En qué consiste ese abrigo? En materiales livianos que contengan aire, aire atrapado en el material y que no pueda moverse. Es decir, necesitamos aire en pequeñas celdas, ya sea en toda la pared que nos protege del exterior, o en agregados que podemos instalar sobre las paredes. Las paredes o techos que solamente tienen cámara de aire ayudan un poco, pero no son buenos diseños porque el aire se mueve en el espacio de la cámara y, así, transfiere calor por convección (movimiento de un fluido). El aire es mal conductor del calor y, por lo tanto, buen aislante, pero para que actúe como aislante debe restringirse también su movimiento.

### **¿Es posible un buen diseño térmico que sea a la vez económico?**

Para lograr un buen diseño térmico que además sea económico conviene situar los aislantes (abrigos) en el lado externo de la casa. Para invierno, está claro, abrigamos la casa desde afuera para que las superficies frías estén alejadas del interior. En verano, ese mismo aislante externo impide que el calor entre. Es decir, es la misma técnica para las dos estaciones. Es fácil comprobarlo en cualquier edificio: al tocar las paredes en invierno y verano se puede sentir ese calor que está fluyendo. En invierno, aun con la calefacción encendida, en donde no hay calefactores las paredes y techo que dan al exterior están fríos; y en verano la cara interna de las paredes están a más alta temperatura que el ambiente, sobre todo del lado norte y oeste. El verano es bueno para detectar fallas térmicas, porque donde se perciba entrada de calor y superficies de paredes calientes será donde en invierno habrá más salida de energía. Por ejemplo, un error muy común es construir una vereda perimetral que se conecta con el piso de la casa. Muchas veces es la misma platea que sale afuera. Este es el peor diseño posible de piso, porque

esa vereda será una aleta refrigeradora en invierno y un excelente calefactor en verano, calentada por los rayos solares.

La termicidad es muy importante porque determina el consumo directo principal de energía en una casa. De acuerdo con estudios realizados en Bariloche, por ejemplo, que tiene una temperatura media anual de 8°C, con nuestra construcción convencional actual el consumo de energía en gas es 20 veces mayor al consumo eléctrico y demanda en calefacción el 80% de toda la energía que se usa en la casa. En cambio, en La Plata, con una temperatura media de 16°C, el consumo de gas es 8 veces mayor al de electricidad.

Para que ustedes puedan hacer los cálculos con sus propias facturas, vean este ejemplo: un metro cúbico de gas natural aporta una energía neta de 10 kWh, también similar a la energía contenida en un litro de nafta súper (por más detalles, ver el Manual de Estadísticas Energéticas en la bibliografía). En Bariloche, el promedio de consumo de gas en casas es cercano a 5.000 metros cúbicos al año (50.000 kWh por año de energía), mientras que el de electricidad es de 2.400 kWh al año. En La Plata, las auditorías realizadas por la Facultad de Arquitectura encontraron promedios de uso de 1.880 metros cúbicos al año de gas (18.800 kWh por año) por vivienda y 2.430 kWh al año de consumo eléctrico. En Estocolmo (más frío que Bariloche, con una temperatura media de 7°C), la casa promedio consume 12.000 kWh al año en calefacción, cuatro veces menos energía en calefacción que en Bariloche y, sorprendentemente similar a La Plata. Nótese la diferencia de temperaturas medias entre estos sitios comparados.

Entonces, tanto en climas cálidos como fríos, una mala aislación térmica lleva a altos consumos de gas y, en climas cálidos, se adicionan altos consumos de electricidad en verano por el uso masivo del aire acondicionado. Por ejemplo, el valle de Río Negro y Neuquén presenta las dos condiciones climáticas desfavorables para una construcción ineficiente.

### **Crisis del gas en invierno y, a continuación, crisis de la electricidad en verano**

Estas crisis son totalmente evitables si se ponen en práctica los principios sencillos de la aislación térmica. Este es un aspecto esencial tanto para la construcción convencional como para la construcción natural. No es el objetivo de este artículo discutir política energética, pero está claro que la termicidad de los edificios es fundamental para no dilapidar recursos energéticos valiosos y estratégicos, y para no tener que gastar fortunas importando combustibles caros desde el exterior.

## Construcción convencional y construcción natural

Con lo dicho hasta aquí tenemos la base para discutir, por un lado, algunas diferencias entre estos dos tipos de construcción y, por otro, la importancia de la eficiencia térmica en toda construcción, incluida la construcción natural. Como veremos en detalle, las múltiples ventajas que tiene la construcción natural pueden verse reducidas si el consumo de energía cotidiano es alto. Por ejemplo, en una casa prototipo en la Provincia de Buenos Aires, los arquitectos Patrone y Evans mostraron que las paredes de tapial de tierra compactada resultan en coeficientes térmicos que no cumplen con el nivel más bajo de la Norma IRAM, nivel C. De tal forma el gasto directo de energía sería muy significativo y compensaría las disminuciones en el uso de energía indirecta por la utilización de tierra para la construcción en lugar de materiales industrializados. Para hacer las comparaciones energéticas en uso diario directo y en uso indirecto incorporado en los materiales, veamos cuán grandes son la huella energética y de carbono de distintas opciones para envoltentes de edificios: construcción natural con paja de cereal, ladrillos, bloques de concreto y paneles livianos de madera y aislantes.

### Huella energética y huella de carbono

El procedimiento para analizar el impacto en uso de energía y en emisiones de GEI de materiales de construcción se basa en evaluar los distintos pasos en la obtención y procesamiento de los materiales y, en cada paso, estimar la cantidad de energía y los GEI. Este procedimiento se llama inventario de ciclo de vida (ICV). El resultado del ICV será entonces una cantidad de megajoules (MJ, huella en energía) y una cantidad de dióxido de carbono equivalente ( $\text{kg CO}_2\text{eq}$ , huella de carbono). El Joule (J) es la unidad internacional de energía. Un metro cúbico de gas natural tiene un poder calorífico neto de 36 MJ, que equivalen a 10 kWh. Un trabajo muy detallado realizado en Mendoza

por el Dr. en Energética Alejandro Arena y colaboradores (2002), concluye que fabricar en Argentina un kilogramo de cemento portland común presenta una huella energética de 3,6 MJ y una huella de carbono de 0,83  $\text{kg CO}_2\text{eq}$ .

Con estos datos vamos a contestar la interesante pregunta: ¿Cuánto tiempo de consumo directo de una casa de Bariloche iguala a la energía que se usó para fabricar todo el cemento de la casa? ¿Son años o meses? Como vimos, una casa promedio de 105 metros cuadrados en Bariloche consume 5.000 metros cúbicos de gas por año. Un arquitecto me informó que en una casa de 105 metros cuadrados se usan cerca de 200 bolsas de cemento, lo cual en peso resulta en la importante cantidad de 10.000 kilogramos de cemento.

Usando el resultado obtenido en Mendoza por Arena y otros autores, resulta que en cemento esa casa tiene incluida una energía de  $3,6 \text{ MJ/kg} * 10.000 \text{ kg} = 36.000 \text{ MJ}$ . ¿A cuántos metros cúbicos de gas equivale esta energía? El poder calorífico neto del gas natural es  $36 \text{ MJ/m}^3$ , y resulta que todo el cemento de la casa se fabricó con  $1.000 \text{ m}^3$  de gas natural. ¡Este es el consumo promedio de tres meses para la calefacción de esa casa en una zona fría como la barilochense!

Hay muchos argumentos fuertes en favor de la construcción natural. Sin embargo, uno de los más generalizados, la idea de que el principal gasto energético en una casa corresponde al cemento, no es correcto. Con los ladrillos pasa algo similar. Es cierto que demandan mucha energía en la fabricación, pero si comparamos con el consumo cotidiano en una casa ineficiente, el impacto de los ladrillos no es tampoco significativo. Cuando la casa es eficiente y el consumo operativo del día a día es muy bajo, entonces puede haber incidencia alta de los materiales. Este es otro motivo por el cual, si queremos bajar el impacto ambiental de los edificios, más allá del tipo de construcción, primero hay que preocuparse por la eficiencia térmica, tanto en clima frío como en clima cálido.

### Construcción natural con paja de cereal

Entre las opciones de materiales naturales con buena respuesta térmica sin duda es frecuente encontrar la paja de cereal. Este es un material que se ha aplicado en una diversidad de construcciones utilizando



Figura 1. Bloques de paja y arcilla secándose en el ambiente exterior.



Imagen: A. D. González

**Figura 2. Casa con envoltente de bloques de paja y arcilla, revocada con arcilla y arena, en etapa de terminación.**

los fardos enteros producidos en la agricultura, lo cual conduce a muy alta resistencia térmica de las paredes. Éstas resultan en espesores terminados de unos 50 centímetros, con lo cual su resistencia térmica cumple con las normas de construcción eficiente más estrictas. Sin embargo, tiene la desventaja de que utiliza gran cantidad de paja de cereal: típicamente una casa familiar requiere más de dos hectáreas de cultivo.

Un estudio de Bariloche y la Comarca Andina del paralelo 42, realizado por González, Tognetti, Van den Heede (2011), especialistas en agricultura y construcción, explica con detalle un sistema de construcción basado en bloques preformados de paja de cereal con arcilla. Estos bloques son manufacturados artesanalmente. En la Figura 1 se muestran secándose en el ambiente exterior en la localidad de Golondrinas, Chubut. De esta manera se usa menos paja de cereal y la construcción de la envoltente del edificio es más simple de resolver. Estos bloques se unen con una mezcla de arcilla, arena y paja de cereal, resultando una pared terminada de unos 24 centímetros de espesor. Si bien esta pared tiene menor resistencia térmica que la de fardos, la resistencia resultante con los bloques de paja y arcilla es cuatro veces mejor que la actual para paredes de ladrillos convencionales.

Los bloques son usados en cerramientos y no cumplen función estructural. La estructura se garantiza con soluciones en madera, metal o mixtas con hormigón. En Río Negro y Chubut se construyeron decenas de casas con esta técnica, y en 2013 se inauguró un edificio de 600 m<sup>2</sup> que alberga un centro de salud en el casco urbano de El Bolsón. Se realizó con estructura de caños reciclados de la industria petrolera, cerrando la envoltente en bloques de paja y arcilla. La Figura 2 muestra una casa con bloques de paja y arcilla que han sido revocados con barro compuesto por arcilla, arena y paja de cereal. En este caso el dueño optó por techado vivo.

En la Figura 3 se muestra otro diseño de casa también en bloques de paja y arcilla, revocada y pintada. Los materiales no condicionan los diseños, sino que estos son adaptables a la elección y conveniencia de los usuarios. En ambos casos, nótese la proporción de



Imagen: C. Tognetti

**Figura 3. Casa con envoltente de bloques de paja y arcilla, revocada con arcilla y arena.**

materiales locales y la incidencia de la mano de obra local, que no sólo provee la colocación de los elementos que forman las paredes, sino también la manufactura en obra, con materia prima de procedencia local.

### Huella energética y de carbono de materiales de construcción

En la Tabla 1 se muestran la huella energética (HE) y la huella de carbono (HC) para fabricación y transporte de distintos materiales de construcción. El transporte de cemento por 700 kilómetros hasta el lugar de obra suma 13% a la HE de fabricación, y en ladrillos el transporte agrega 18%. Además, se agregó en la Tabla 1 las HE y HC para un fardo de paja de trigo, así como los valores correspondientes para los bloques mostrados en la Figura 1.

La mano de obra es un impacto importante en ciertos procesos y debe evaluarse. Por ejemplo, en la obtención de paja de cereal en fardos la mano de obra no es significativa porque la mayor parte del trabajo se encuentra mecanizado. El resultado del ciclo de vida para el caso de los fardos resultó con impactos de la mano de obra del orden del 5%. Sin embargo, en la fabricación artesanal de bloques de paja y arcilla el impacto de la mano de obra alcanza el 50%. Es importante notar que en la construcción natural, por ser un tipo de trabajo apto para la autoconstrucción y la cooperación (usualmente, de la familia, vecinos y amigos), se tiende a minimizar los gastos y los impactos en mano de obra. En la actualidad, la mayor parte de las personas vive de un trabajo que debe cumplir aparte de sus tareas en su casa. Esto hace que sea

poco probable que pueda dedicarse tiempo a la autoconstrucción, tanto por parte del propietario como de los familiares, vecinos o amigos que pudieran ayudarlo. Existen, sin duda, muchos casos exitosos de autoconstrucción, pero, no incluir costos e impactos de la mano de obra en la construcción natural situaría el análisis en una franja de casos muy estrecha, sin que resulte representativo de su costo real para un ciudadano promedio. En los casos de construcción con bloques, estudiados en Chubut (en base al estudio de González, Tognetti y Van den Heede ya mencionado), las casas y otros edificios fueron construidos por profesionales especializados en el tema, con costos de mano de obra similares a los que se tienen para la construcción convencional con ladrillos y hormigón.

### Características de las paredes estudiadas

Para comparar la energía y GEI de distintos casos consideremos los siguientes elementos usados en paredes:

- Ladrillos comunes de 0,23m x 0,11m x 0,07m, procedentes de una distancia de 700 km, para formar una pared de 23 cm de espesor.
- Bloques de concreto de 0,20m x 0,20m x 0,40m, para paredes de 20 cm de espesor, con 10% de cemento procedente de una distancia de 700 km, arena y ripio locales y fabricación local.
- Placas de aglomerado de madera tipo OSB de 12 mm de espesor, colocadas dobles con un espacio de 5 cm entre ellas. Este espacio se rellena con telgopor o lana de vidrio de 5 cm de espesor.

|   | <b>Energía</b>          | <b>GEI</b>                                   | <b>Transportado 700 km</b>  |
|---|-------------------------|--|---|
| <b>Cemento Portland, 1ton<br/>= 20 bolsas</b>                                 | 3.600 MJ /ton           | 831 kg CO <sub>2</sub> eq/ton                | 4.000 MJ/ton<br>870 kgCO <sub>2</sub> eq/ton                              |
| <b>Bloques concreto, 1.000<br/>bloques de<br/>0,2m x 0,2m x 0,4m</b>          | 10.300<br>MJ/1000 unid. | 1560 kgCO <sub>2</sub> eq/<br>1.000 unidades | 10.900 MJ/1.000 unid.<br>1600 kgCO <sub>2</sub> /1000<br>unid.            |
| <b>Ladrillo cocido, 1.000<br/>ladrillos de<br/>0,23m x 0,11m x 0,07m</b>      | 9.300<br>MJ/1000 unid.  | 820 kgCO <sub>2</sub> /<br>1.000 unidades    | 11.000 MJ/1.000unid.<br>960 kgCO <sub>2</sub> /1.000 unid.                |
| <b>Placa OSB 600 kg/m<sup>3</sup> 12<br/>mm espesor</b>                       | 108 MJ/m <sup>2</sup>   | 9,7 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>       | 111 MJ/m <sup>2</sup><br>10 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>            |
| <b>Telgopor 10 kg/m<sup>3</sup>,<br/>espesor 5cm</b>                          | 59 MJ/m <sup>2</sup>    | 8,7 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>       | 68 MJ/m <sup>2</sup><br>9,4 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>            |
| <b>Fardo paja trigo<br/>0,90m x 0,45m x 0,35m<br/>70 kg/m<sup>3</sup></b>     | 7 MJ/fardo              | 0,6 kgCO <sub>2</sub> /fardo                 | <u>Transporte 20 km</u><br>8,6 MJ/fardo<br>0,79 kgCO <sub>2</sub> /fardo  |
| <b>Bloque paja arcilla<br/>0,50m x 0,21m x 0,25m<br/>300 kg/m<sup>3</sup></b> | 4,5 MJ/bloque           | 0,3 kgCO <sub>2</sub> /bloque                | <u>Transporte 20 km</u><br>4,9 MJ/fardo<br>0,34 kg CO <sub>2</sub> /fardo |

Tabla 1. Energía y gases de efecto invernadero (GEI) en algunos materiales de construcción

|  | Número de elementos por m <sup>2</sup>     | Peso / m <sup>2</sup> elementos kg/m <sup>2</sup> | Conductividad del material (W/°C m)        | Resistencia térmica <sup>(3)</sup> (espesor/ conductividad) °C m <sup>2</sup> / W |
|--|--|---|--|---|
| <b>Ladrillo cocido 0,23m x 0,11m x 0,07m</b>     | 85   | 270   | 0,90 <sup>(1)</sup>                        | 0,26  |
| <b>Bloques concreto, 0,2x0,2x0,4m</b>            | 11   | 148   | 0,64 <sup>(1)</sup>                        | 0,33  |
| <b>Dos Placas OSB + EPS (telgopor) 5 cm</b>      | 2m <sup>2</sup> OSB<br>1m <sup>2</sup> EPS | 15  | 0,12 <sup>(1)</sup><br>0,04 <sup>(1)</sup> | 1,4   |
| <b>Fardo paja trigo 0,90m x 0,45m x 0,35m</b>    | 3  | 30  | 0,085 <sup>(1)</sup>                       | 4,1   |
| <b>Bloque paja arcilla 0,50m x 0,21m x 0,25m</b> | 8  | 52  | 0,18 <sup>(2)</sup>                        | 1,2   |

**Tabla 2. Características físicas de los elementos para las paredes estudiadas (1) y (2) datos de González, Tognetti y Van den Heede; (3) la conductividad es una propiedad del material y no depende del espesor, mientras que la resistencia térmica representa la pérdida de calor para un muro de un determinado espesor.**

d) Fardo de paja 0,90m x 0,45m x 0,35m, para paredes de 35 cm de espesor.

e) Bloques de paja y arcilla de 0,50m x 0,21m x 0,25m, para paredes de 21 cm de espesor.

Los diferentes espesores de las paredes corresponden a envolventes exteriores, que por lo general tienen espesores de alrededor de 20 cm. El caso (c), placa OSB y telgopor, corresponde a una pared delgada pero de alta resistencia térmica, típica de la construcción en seco y se considera a los fines comparativos. En la Tabla 2 se muestran las características de los elementos estudiados. Tanto para ladrillos como para bloques y fardos, el número de elementos por m<sup>2</sup> de pared se calculó considerando una junta de separación (mortero) de 2 cm de espesor.

|  | Energía incluida MJ/m <sup>2</sup> | GEI kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> |
|--|------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Ladrillo cocido 0,23m x 0,11m x 0,07m</b>     | 935                                | 82                                    |
| <b>Bloques concreto 0,2m x 0,2m x 0,4m</b>       | 120                                | 18                                    |
| <b>Dos placas OSB + telgopor 5 cm</b>            | 444                                | 29                                    |
| <b>Fardo paja trigo 0,90m x 0,45m x 0,35m</b>    | 26                                 | 2,4                                   |
| <b>Bloque paja arcilla 0,50m x 0,21m x 0,25m</b> | 40                                 | 2,7                                   |

**Tabla 3. Energía y gases de efecto invernadero (GEI) incluidos en los elementos necesarios para un metro cuadrado de pared**

Nótese que las opciones (a) y (b), las más usadas en la construcción actual, presentan muy malos índices térmicos, con resistencias muy por debajo de la unidad. Al mismo tiempo, son las que mayor peso de elementos agregan al muro. La opción (c) es muy interesante para visualizar cómo un muro de poco espesor y peso presenta una resistencia térmica bastante más alta que la ofrecida por las paredes convencionales más usadas.

### Energía y GEI por m<sup>2</sup> de pared

Con los datos de las Tablas 1 y 2 vamos a estimar la HE y HC de los elementos necesarios para 1 m<sup>2</sup> de pared. La energía y GEI por m<sup>2</sup> se obtienen multiplicando los valores individuales de la Tabla 1 (cuarta columna) por el número de elementos por metro cuadrado de la Tabla 2. El resultado se muestra en la Tabla 3. Estos valores corresponden a la energía y GEI de uso indirecto que están incluidos en el material en los procesos de fabricación y transporte, sin considerar su colocación, ni los morteros, ni los revoques necesarios para terminar la pared.

La comparación de los resultados de la Tabla 3 muestra que la opción con ladrillos es la que requiere de mayor energía y de mayor emisión de GEI en su fabricación. Se observa una diferencia muy grande entre los impactos en las opciones de construcción natural y las convencionales. De todos modos, este es un resultado parcial, porque la Tabla 3 no incluye la eficiencia de cada pared. Por lo tanto, esos resultados no son proporcionales al consumo que se tendrá en el día a día de operación de la casa, tanto respecto de la calefacción en invierno, como respecto del aire acondicionado en verano. Por este motivo veremos enseguida

un coeficiente combinado que será proporcional a los dos aspectos simultáneamente, los impactos en energía y GEI en la fabricación y en el consumo cotidiano.

### Coeficiente combinado de impacto en fabricación y de eficiencia térmica

En la Tabla 4 se muestran los valores de huella energética y de GEI relativo a la resistencia térmica de los elementos de la pared. Para esto consideramos los impactos en energía y GEI que se listan en la Tabla 3, y los dividimos por los valores de resistencia térmica que se muestran en la Tabla 2. El resultado es un coeficiente que da cuenta de los dos impactos, tanto en fabricación y transporte de los elementos, como proporcionalmente del gasto de energía que se hará por efecto de la menor o mayor termicidad de las paredes.

Las opciones convencionales (a) y (b) son las que presentan los valores más altos, indicando mayores impactos en la evaluación combinada de consumos en fabricación y en uso cotidiano de energía. La construcción liviana (c), por tener mayor resistencia térmica, resulta en una mejor evaluación combinada que las opciones con ladrillos o bloques de concreto. Sin embargo, las soluciones en construcción natural eficiente que usan paja de cereal tienen índices mucho más bajos que todos los casos convencionales.

En la Tabla 4 se agregó en la última fila una opción, que utiliza los mismos ladrillos de la opción (a) pero con el agregado de una plancha de telgopor o lana de vidrio de 5 cm. Esto aumenta la resistencia térmica seis veces, con lo cual el coeficiente combinado de fabricación y consumo cotidiano se reduce significativamente. Con este ejemplo se ve claramente la ventaja de incorporar aislamiento térmico liviano a los edifi-

cios existentes. El agregado de unos pocos centímetros de aislante tiene el potencial de reducir las pérdidas/ganancias de calor hasta en un 70%, dependiendo de la superficie de ventanas y de las filtraciones de aire. Como se demostró en experimentos realizados en el Centro Regional Universitario Bariloche por Joel Gutiérrez y Alejandro González (2012), los aislantes térmicos pueden ser también de materiales reciclados. Cartón, viruta de aserradero, piedra pómez, papel picado, y otros materiales naturales y de reciclado tienen muy buenas propiedades térmicas, y a la vez disminuyen la energía usada y los GEI emitidos respecto de aislantes industriales de difícil provisión en lugares alejados.

### Aspectos de sustentabilidad

Las diferencias a favor de las opciones con paja de cereal son muy grandes y deben ser tomadas en cuenta al momento de decidir la promoción de determinadas formas de construcción futuras. Más aun considerando que los materiales provenientes de la agricultura pueden ser producidos en la Patagonia en forma renovable. En el caso de la producción de cereales, es recomendable, y práctica habitual en la actualidad, que al menos el 50% de la paja de cereal quede en el campo cubriendo el suelo. Esto beneficia al suelo y a la fertilidad para los siguientes cultivos. Por otro lado, la paja de cereal es un residuo en la producción del principal ingrediente alimenticio en la dieta contemporánea, con lo cual su continuidad garantiza la provisión de recursos para la manufactura de materiales de construcción térmicamente eficiente.

Es importante notar que, si bien el fardo entero es la opción de mayor resistencia térmica y menor impacto

|  | Resistencia térmica<br>°Cm <sup>2</sup> / W | Energía por unidad de resistencia térmica | GEI por unidad de resistencia térmica |
|--|---|---|---------------------------------------|
| <b>a) Ladrillo cocido, 0,23mx0,11mx0,07m</b>                   | 0,26  | 3640                                      | 320                                   |
| <b>b) Bloques concreto, 0,2x0,2x0,4m</b>                       | 0,33  | 384                                       | 57                                    |
| <b>c) 2 Placas OSB + telgopor 5 cm</b>                         | 1,45  | 306                                       | 20                                    |
| <b>d) Fardo paja trigo 0,90x0,45x0,35m</b>                     | 4   | 6,5                                       | 0,6                                   |
| <b>e) Bloque paja arcilla 0,50x0,21x0,25m</b>                  | 1,20  | 34  | 2,3                                   |
| <b>a.1) Ladrillo cocido, 0,23mx0,11mx0,07m + 5 cm telgopor</b> | 1,5   | 669                                       | 61                                    |

**Tabla 4. Coeficientes de energía y gases de efecto invernadero (GEI) incluida en la fabricación y transporte de un metro cuadrado de elementos de pared, calculado por unidad de resistencia térmica**

indirecto, a su vez la disponibilidad de fardos puede estar limitada por el área cultivada, en particular si se quiere promover masivamente esta técnica de construcción. Por ejemplo, en las condiciones de cultivo estudiadas para la zona rural de Golondrinas, en el norte de la Provincia del Chubut, cerrar una envolvente de 140 m<sup>2</sup> con fardos requiere una superficie de cultivo de 2,8 ha, mientras que con bloques de paja y arcilla se necesitan aproximadamente 1,2 ha.

Los bloques de paja y arcilla son también elementos muy útiles para rehabilitación térmica de viviendas. En las regiones muy frías patagónicas, con temperaturas medias mensuales de invierno entre 0°C y 3°C, los sectores de menores recursos habitan casas que con estas técnicas podrían mejorarse enormemente en termicidad y confort. Además, el mortero y el revoque en barro (compuesto por arcilla, arena y fibra) son muy efectivos para sellar filtraciones de aire.

Argentina es un país con alta vulnerabilidad a la disminución de recursos energéticos fósiles, en parte por su extensa geografía, y más aun por costumbres ya arraigadas en el uso excesivo de energías no renovables como el petróleo y el gas a muy bajo precio. La situación resultante de décadas de subsidios y la consolidación de una política energética basada en muy altos consumos con baja eficiencia, genera altos riesgos de que la adaptación a un cambio en la provisión o en el precio sea dificultosa, tanto en lo económico, como en lo social y ambiental.

### Beneficios sociales de la construcción natural eficiente

El aspecto social de la construcción natural eficiente es muy importante. Nótese que en ésta los materiales son principalmente producidos localmente. Construir una pared con ladrillos industrializados de una localidad alejada favorece al comercio, al transporte y a la actividad industrial, pero disminuye la participación local. Por lo general, las poblaciones patagónicas presentan altos índices de desocupación, lo cual se manifiesta en la alta tasa de empleo estatal y en la necesidad de un número creciente de planes de ayuda a sectores vulnerables. Los materiales basados en paja de cereal descriptos aquí sumarían puestos de trabajo no sólo en la construcción (para fabricar los elementos constructivos), sino también en la agricultura, porque se necesitarían mayores producciones agropecuarias locales de cereales para abastecer un mercado creciente de esta construcción. A su vez, estos cereales aumentarían la oferta local de harinas y derivados, tanto para alimentación humana como animal, siendo una actividad que se adiciona a las oportunidades laborales y de negocios a nivel local.

Por otro lado, hacer construcción con paja de cereal traída de la zona cerealera central no sería convenientemente.

Por un lado, conllevaría un alto impacto ambiental y un elevado costo de transporte; por otro, anularía una parte significativa de los beneficios sociales en el lugar de la construcción; y, por último, aumentaría aun más la vulnerabilidad en un futuro de menores recursos energéticos fósiles.

La eficiencia en el uso de recursos es transversal a todas las formas de construcción, y contribuye sinérgicamente a aumentar la probabilidad de sustentabilidad. Es probable que la construcción convencional actual, muy intensa en energía y emisiones de GEI, no pueda llevarse a cabo por mucho tiempo; y es también probable que una construcción natural que no considere la eficiencia térmica como prioritaria, no pueda sustentar el gasto energético cotidiano de una vivienda en climas como el de la Patagonia. Lo discutido aquí sugiere que la eficiencia térmica y el uso de recursos locales renovables disminuyen los riesgos ambientales, a la vez que aumentan las posibilidades laborales y de desarrollo de la comunidad local.

### Agradecimientos

A Simón Van den Heede y Conrado Tognetti (agricultores y constructores), por su aporte esencial para esta investigación. Al CONICET, proyecto PIP 00107, y a la Universidad Nacional del Comahue (CRUB), proyecto PIN I B191, por el apoyo presupuestario.

## Lecturas sugeridas

- Arena, A., Correa, E. y de Rosa, C. (2002). Perfil ambiental del cemento portland producido en la región oeste Argentina, según la metodología del IPCC. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 6 (1), pp. 47-52. En URL: [www.cricyt.edu.ar/asades/averma.php](http://www.cricyt.edu.ar/asades/averma.php)
- González, A.D. (2008). Aumento de eficiencia térmica en la ciudad de Bariloche: propuesta de plan de mejoras con dirección de subsidios a la inversión, y no al consumo. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 12 (1), pp. 57-64. En URL: [www.cricyt.edu.ar/asades/averma.php](http://www.cricyt.edu.ar/asades/averma.php)
- González, A.D., Tognetti, C. y Van den Heede, S. (2011). Beneficios ambientales del uso de paja de cereal para muros en edificios de la Patagonia Andina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 15 (1), pp. 55-63. En URL: [www.cricyt.edu.ar/asades/averma.php](http://www.cricyt.edu.ar/asades/averma.php)
- Manual de Estadísticas Energéticas*. Agencia Internacional de Energía. En URL: [www.iea.org](http://www.iea.org)
- Schueftan, A. y González, A.D. (2013). Comparación de recursos energéticos residenciales en las ciudades de Valdivia (Chile) y Bariloche (Argentina): precios y consumos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 17(1), pp. 09-17. En URL: [www.cricyt.edu.ar/asades/averma.php](http://www.cricyt.edu.ar/asades/averma.php)