

Construcción en seco

En-clave de energía

MAGDALENA CAMACHO
DANIEL SOSA

Arquitecta (FARQ-UdelaR, 2008). Profesora Adjunta del Departamento de Clima y Confort en Arquitectura y docente del curso Acondicionamiento Natural. Diplomada en Viviendas Sustentables (Universidad del Bío Bío, Chile). En la actualidad cursa la Maestría en Arquitectura de FADU (UdelaR). Ha participado de proyectos de I+D (CSIC) y ANII en equipos interdisciplinarios.

Arquitecto (FARQ-UdelaR, 2013). Magíster en Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética (Universidad del Bío Bío, Chile). Asistente del Departamento de Clima y Confort en Arquitectura y docente del curso Transversal 1 - Sustentabilidad. Ha participado en equipos y proyectos de investigación, con presentación de artículos y conferencias en diversos ámbitos académicos nacionales e internacionales.

Presentación

La construcción en seco, a través de sus diversos sistemas constructivos, ha devenido en una relevante técnica de construcción en el contexto de la contemporaneidad, asociada a algunas características que le confieren particular interés como son su rapidez de montaje y ejecución. Sin embargo, a pesar de estar representada por sistemas constructivos globales de uso creciente, pocas veces se reflexiona en relación a su comportamiento en climas locales, sus posibilidades de adaptación a los mismos y sus consecuencias como interfase en la gestión y manejo de la energía para generar condiciones de habitabilidad del espacio construido.

Desde una perspectiva histórica, el despegue técnico del siglo pasado trajo consigo manifiestos expresivos de liviandad en la construcción, reflejados en el aumento del acristalamiento y la pérdida de masividad. No obstante, esto provocó alteraciones en el comportamiento energético de los edificios, para los que no existe aún una estrategia energética en sustitución a la tradicional (Araujo, 2009), además de la utilización de sistemas activos para climatización.

Este artículo presenta, *en-clave de energía*, una reseña de las principales características, propiedades, alternativas e investigaciones del Departamento de Clima y Confort en Arquitectura en relación al comportamiento energético de las construcciones livianas.

La primera parte aborda las condiciones de nuestro clima y la importancia de las estrategias bioclimáticas para el aprovechamiento de los recursos naturales. La segunda presenta los resultados de investigaciones experimentales y simulaciones computacionales realizadas para distintos climas locales y distintos tipos de construcciones. Más adelante establece consideraciones relevantes para el diseño de cerramientos livianos. Finalmente, la última sección expone una síntesis de las alternativas constructivas y los nuevos materiales que pueden contribuir a mejorar el desempeño energético de las construcciones livianas.

Clima y diseño pasivo

El clima de nuestro territorio se caracteriza por ser templado, moderado, lluvioso, con una temperatura superior a los 22,0 °C en el mes más cálido y una temperie húmeda, correspondiéndole la categoría Cfa de acuerdo a la clasificación climática de Köppen. Asimismo, la norma de zonificación climática *UNIT 1026:99* (UNIT, 1999) divide al país por isotermas en tres zonas climáticas: cálida —zona IIb—, templada cálida —zona IIIb— y templada fría —zona IVb—, de noroeste a sureste, respectivamente.

Montevideo, ciudad representativa de la zona sur, presenta una temperatura máxima media de 27,9 °C y una temperatura mínima media de 17,8 °C en enero y de 15,0 °C y 6,8 °C en julio, respectivamente. Esto se traduce en valores considerables de amplitud térmica media durante todo el año, alcanzando diferencias de 10,1 °C para enero y 8,2 °C para julio. Si bien los registros presentan algunas variaciones para otras localidades, la condición con respecto a la amplitud se reproduce en todo el territorio.

Estas características, de clima templado y amplitudes térmicas considerables durante todo el año, hacen del clima nacional un caso complejo, en el que el diseño debe dar respuesta a distintos problemas. En el período frío los principales requerimientos se asocian a la captación de energía solar y a la reducción de las pérdidas de calor. En el período caluroso se deberán reducir las ganancias de calor y aumentar las pérdidas. En relación a la amplitud térmica, por otra parte, es necesario comprender la importancia del control de flujos de calor en el tiempo a través de la amortiguación y el retardo térmico de los cerramientos.

Estos requerimientos pueden alcanzarse si se consideran distintas estrategias bioclimáticas asociadas a las condiciones del clima local. El diagrama psicrométrico para la ciudad de Montevideo (fig. 1), en el que se representan la temperatura en °C, el porcentaje de humedad relativa de las 8760 horas de año y las estrategias bioclimáticas asociadas al clima local, permite observar que, naturalmente, las condiciones de temperatura y humedad están dentro de los rangos aceptables de confort un 19,1% de las horas del año —1673 h—. A su vez, la acción combinada de las distintas estrategias pasivas permitiría lograr condiciones de confort hasta en un 80,6% de las horas del año —7061 h—, demostrando el enorme potencial del diseño bioclimático.

Estrategias bioclimáticas de Diseño

- 1 Zona de confort (1671 h) 19.1%
- 2 Sombreamiento (1699 h) 19.4%
- 3 Masa térmica refrescamiento (307 h) 3.5%
- 4 Ventilación natural (1458 h) 16.6%
- 5 Masa térmica calentamiento 2183 h) 24.9%
- 6 Calentamiento solar pasivo (1628 h) 18.6%

Estrategias activas

- Calefacción (1638 h) 18.7%
Refrigeración (61 h) 0.7%

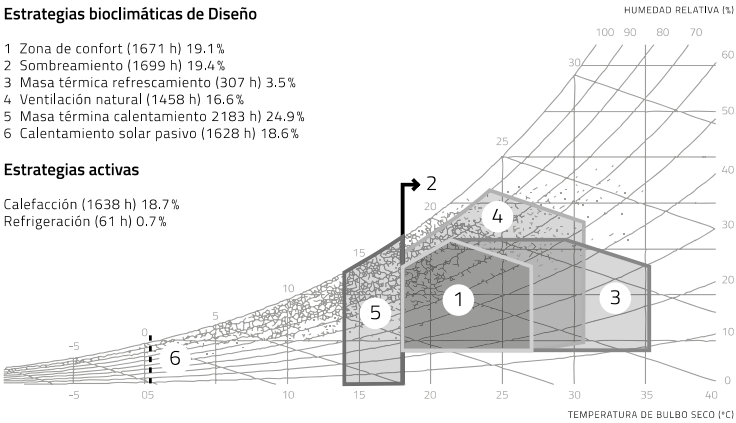


FIGURA 1. DIAGRAMA PSICROMÉTRICO Y ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA MONTEVIDEO (DATOS CLIMÁTICOS DEL LABORATORIO DE ENERGÍA SOLAR, UDELAR). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (MODIFICADO DE CLIMATE CONSULTANT 6.0, MODELO: CALIFORNIA ENERGYCODE).

El restante 19,4% de las horas del año —1699 h— será necesario utilizar sistemas de climatización para alcanzar las condiciones de confort, correspondiendo en un 18,7% —1638 h— a la utilización de sistemas de calefacción y tan solo en un 0,7% —61 h— a la utilización de sistemas de refrigeración.

En el período caluroso las estrategias más relevantes son la ventilación natural y la masa térmica aislada para refrescamiento, que deben considerarse conjuntamente. Por el contrario, en el período frío es esencial la masa térmica aislada para calentamiento junto al calentamiento solar pasivo asociado a ella. La estrategia de sombreado es necesaria en cualquier época del año en que la temperatura exterior del aire supere los 19 °C. Si bien la incidencia de estas estrategias puede variar levemente en las distintas localidades del país, tendrán la misma relevancia en cualquier parte del territorio nacional.

Mientras que algunas estrategias bioclimáticas quedan principalmente supeditadas a las condiciones generales de diseño del proyecto, la estrategia de masa térmica aislada para calentamiento y refrescamiento queda sujeta al diseño de los cerramientos que componen la envolvente. Esta dimensión cobra particular relevancia en el análisis de sistemas de construcción en seco, donde debe considerarse especialmente la materialidad, el tipo de capas y el orden de las mismas, para lograr maximizar las condiciones de diseño pasivo, en un clima complejo como el de Uruguay.

Estudios experimentales

El Departamento de Clima y Confort en Arquitectura ha realizado diversas investigaciones sobre el efecto de la masa térmica en la envolvente de los edificios. Particularmente, se realizaron dos proyectos que demuestran el comportamien-

to diferencial que tienen un cerramiento con masa térmica y un cerramiento liviano, conjuntamente con otras estrategias bioclimáticas.

En una primera instancia, en el proyecto de investigación *Evaluación del desempeño térmico de un sistema constructivo liviano para la situación climática de Uruguay* (Díaz-Arnesto, Picción, Camacho, López y Milicua, 2007), a partir del estudio del comportamiento térmico de un prototipo liviano, se determinó la influencia que provocan diferentes estrategias de diseño pasivo sobre la oscilación de la temperatura interior y el consumo de energía anual y estacional en las edificaciones.

En la parte A de la figura 2 se expone la comparación entre la temperatura del aire exterior y el registro de la temperatura del aire interior de un prototipo liviano para una semana del período caluroso y otra del período frío. El prototipo estaba conformado en su totalidad por paneles de acero galvanizado con núcleo de poliestireno expandido [EPS], de 10 cm de espesor, con una ventana orientada al norte. Se observa, en ambos períodos, un comportamiento similar de la

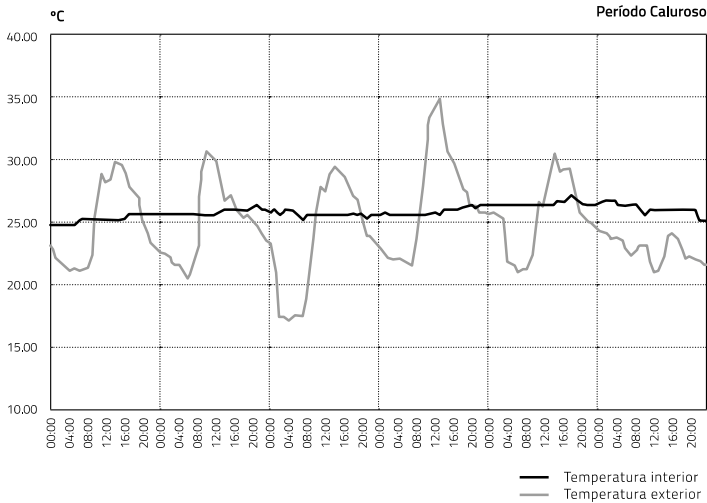


FIGURA 3. COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL EN EL PERÍODO CALUROSO EN MONTEVIDEO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

temperatura interior, despegándose de la temperatura exterior, con valores de máximas diarias sensiblemente mayores tanto en verano como en invierno. Las mínimas también tienen un comportamiento similar para los dos períodos, pero con valores parecidos a los de la temperatura exterior. Para lograr condiciones de confort térmico, la temperatura del aire interior no debería oscilar más de 1,5 °C. En ambos casos puede apreciarse que este valor es ampliamente superado. En la parte B de la figura 2 se muestran los registros de temperatura cuando al mismo prototipo liviano se le aplicaron dos medidas en correspondencia con estrategias bioclimáticas: colocación de bloques cerámicos en el piso y protección solar en la ventana. En ambos períodos se puede apreciar la mejora notable del comportamiento de la temperatura del aire interior al no evidenciar los picos que presentaba en la situación anterior, logrando temperaturas más estables dentro del prototipo. Esto sucede porque al agregar masa térmica se aumenta la capacidad térmica del conjunto, haciendo posible la acumulación de calor. Además, el hecho de contar con protecciones solares limita las ganancias de radiación solar, haciendo más fácil regular un flujo térmico moderado.

Asimismo, en el proyecto de investigación *Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo* (Picción, Camacho, López y Milicua, 2009) se analizó el comportamiento energético de diferentes tipologías de apartamentos de viviendas realizados en construcción tradicional en dos ciudades de Uruguay. En total se recopilaban datos de 82 edificios y en todos los casos las características de la envolvente eran similares en cuanto a valores de transmitancia térmica y porcentaje de huecos. Finalmente, en los apartamentos seleccionados se registraron las condiciones

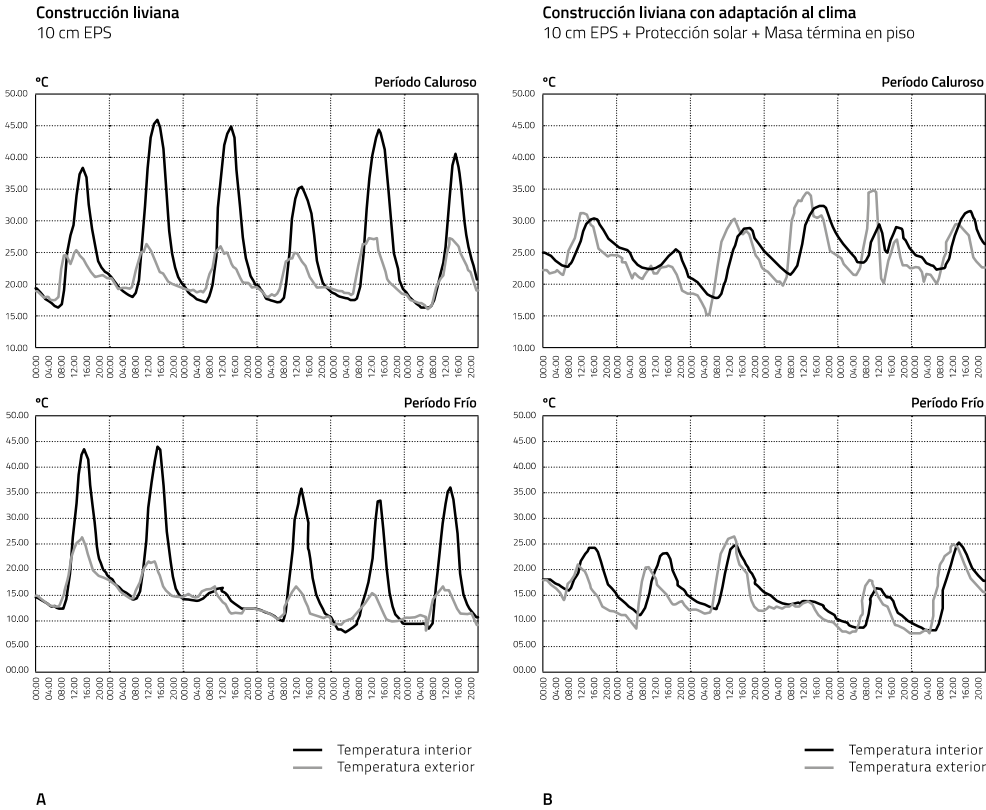


FIGURA 2. COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE CONSTRUCCIÓN LIVIANA Y CONSTRUCCIÓN LIVIANA CON MEJORAS EN EL PERÍODO FRÍO Y CALUROSO EN MONTEVIDEO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

interiores de temperatura del aire y humedad relativa durante una semana en cada período del año.

En la figura 3 se observa el andamio de la temperatura interior y exterior en un apartamento con doble orientación, en Montevideo, para una semana del período caluroso. Puede apreciarse la variación diaria de la temperatura exterior, teniendo una oscilación en la que las mínimas se producen en horas previas al amanecer y las máximas próximas al mediodía. Sin embargo, este comportamiento cíclico no es tan fácil de observar en la temperatura interior, que se presenta más estable durante todo el período de registro. Esto se debe a que la presencia de masa térmica regula los flujos de calor en el tiempo, haciendo notoria la diferencia de comportamiento térmico entre la temperatura exterior y la interior, lo que demuestra la importancia de esta estrategia para lograr un comportamiento estable de la temperatura interior del aire. Mediante simulación computacional también se analizó, en este proyecto, el impacto del espesor del aislante térmico en cubierta con respecto al consumo de energía usada tanto en calefacción como en refrigeración, concluyendo que el consumo energético disminuye progresivamente si el espesor se incrementa hasta los 5 cm y presenta variaciones poco significativas con espesores mayores. Estos resultados relativizan la utilización excesiva de aislante térmico en construcciones tradicionales.

La importancia de la masa térmica aislada viene dada por las características de nuestro clima. Con esta estrategia, lograda a partir de un cerramiento pesado protegido del medio exterior por un aislante térmico, se obtiene una reducción del flujo de calor y de la amplitud de la temperatura del aire interior, así como el control de los flujos de calor en el tiempo. Este conjunto de efectos conforma el concepto de inercia térmica, dado por los parámetros de transmitancia térmica y capacidad térmica de cada cerramiento. En un clima como el nuestro, con una amplitud térmica considerable, no es difícil verse favorecido por los efectos de la inercia térmica si se diseña correctamente la envolvente.

En invierno, la radiación solar es acumulada en los cerramientos y cedida al ambiente unas cuantas horas más tarde en forma de calor, cuando ya no es posible contar con ganancias solares. Este hecho, sumado a la reducción de las pérdidas de calor por la presencia de aislante térmico, hace posible la acumulación y conservación de la energía al interior de los locales. En verano, en cambio, la masa térmica aislada permite acumular el calor generado en el día y cederlo durante la noche, cuando puede ser disipado mediante ventilación. Para que esta estrategia resulte efectiva es importante contar con sombreado en los cerramientos transparentes, a fin de que la masa no se sobrecaliente.

Consideraciones acerca de la construcción en seco

Para el caso de construcciones con cerramientos cuya masa sea inferior a 120 kg/m², la norma *UNIT 1150:2010* (UNIT, 2010) recomienda una transmitancia tér-

1. Denominados Exterior Insulation & Finish Systems [EIFS] en el mundo anglosajón.

2. Cantidad de energía requerida por una sustancia para cambiar de fase sin aumentar su temperatura.

mica $U \leq 0,68 \text{ W/m}^2\text{K}$ para muros y $U \leq 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ para techos, como forma de compensar la ausencia de masa térmica y, por ende, la carencia de inercia térmica.

Otra de las consideraciones a tener en cuenta es que en las construcciones en seco la gran mayoría de las uniones son mecánicas, por lo que es de gran importancia controlar la hermeticidad del conjunto. En este tipo de construcciones, normalmente realizadas a partir de componentes ensamblados, existen muchos más puntos de fuga de aire —filtraciones— con respecto a los que se presentan en sistemas constructivos tradicionales (Trebilcock, 2012). A propósito de este tema, vale recordar una buena práctica de diseño, conocida como «la regla del lápiz», por la cual debería ser posible el dibujo de una línea continua sin levantar el lápiz, tanto en corte como en planta, para asegurar una envolvente hermética y sin discontinuidades. Esta continuidad de la envolvente implicará, en la construcción liviana, la utilización de barreras climáticas, pero también el uso de una serie de sellos, cintas, gomas siliconas y otros elementos para controlar las filtraciones.

En relación al desempeño higrotérmico, si bien es posible calcular el valor de transmitancia térmica y estudiar el riesgo de ocurrencia de condensaciones de un cerramiento, no es posible cuantificar el efecto que tendrán las filtraciones. Es sabido que estas pueden hacer perder la efectividad de aislación de un cerramiento además de permitir el ingreso de aire húmedo al interior del mismo, haciendo favorables las condiciones para la presencia de condensación intersticial. En este sentido, desde el punto de vista del comportamiento higrotérmico, es importante conocer los tipos de capas que conformarán el cerramiento y el orden en el que se dispondrán para controlar la migración de humedad. Siempre debe existir un control de difusión de vapor de agua y de aire húmedo del lado caliente —interior— al frío —exterior— a través de retardadores de vapor y un control de filtración de aire frío del lado frío —exterior— al caliente —interior— mediante barreras climáticas.

Nuevas alternativas

Esta sección presenta una síntesis de alternativas materiales y constructivas que pueden contribuir a mejorar el desempeño energético de los cerramientos livianos, incluyendo algunos materiales innovadores que aún están en etapas incipientes de utilización en el ámbito de la construcción a nivel mundial y permiten perfeccionar ciertas propiedades a partir de la nanotecnología.

Una de las alternativas constructivas surge simplemente de alterar el orden de las capas componentes de los cerramientos. Los Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior [SATE]¹ son sistemas multicapa con aislación en la cara exterior revestida con morteros flexibles. Esta envolvente térmica permite que las capas hacia el interior del cerramiento alcancen temperaturas superiores a las que se presentarían con el aislante en otra posición, disminuyendo el riesgo de ocurrencia de condensación. Además, su instalación continua en

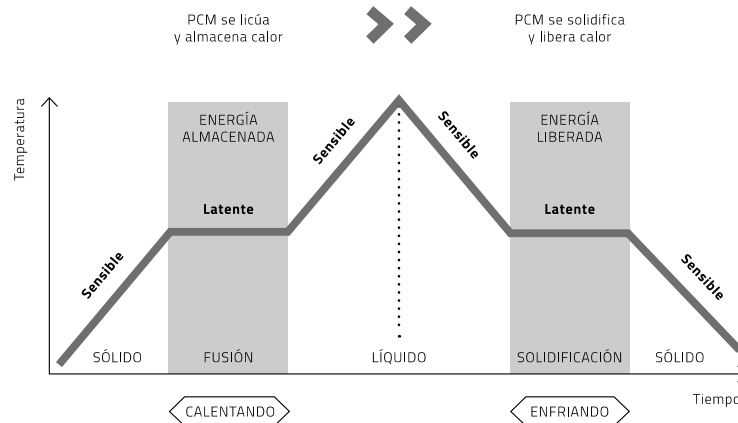


FIGURA 4. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS PCM. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (BASADA EN UNA IMAGEN CON DERECHOS DE USO Y REUTILIZACIÓN CON MODIFICACIONES).

la envolvente puede eliminar los puentes térmicos en puntos característicos. Aplicado en sistemas constructivos tradicionales, permite que la masa térmica del cerramiento quede hacia el interior, consolidando la estrategia bioclimática conocida como «masa térmica aislada», lo que constituye una alternativa con enorme potencial para implementar en el parque construido existente. Sin embargo, en sistemas livianos, conformados normalmente por elementos con poca capacidad de acumular calor, esta estrategia también puede alcanzarse si se considera la incorporación de nanomateriales.

La nanotecnología refiere a todas las formas de análisis e investigación material en magnitudes inferiores a 100 nm —1 nm es igual a una millonésima parte de un milímetro— con el objetivo de obtener componentes con nuevas funcionalidades y propiedades para el desarrollo de nuevos productos y aplicaciones (Leydecker, 2008). Dentro de esta familia se encuentran los materiales de cambio de fase, también conocidos como Phase Change Materials [PCM], que pueden regular la temperatura a partir del principio de calor latente² y cuyo funcionamiento puede observarse en la figura 4.

Los PCM están conformados generalmente por parafina contenida en cápsulas de polímeros, que al cambiar de estado almacenan o liberan calor durante el proceso, permitiendo aumentar la capacidad térmica del cerramiento. Esta solución es particularmente útil en sistemas constructivos livianos, característicos por su baja inercia térmica, permitiendo obtener una energía almacenada análoga a la del hormigón, pero con espesores hasta cinco veces menores. Actualmente, existen en forma de aditivos, lo que permite integrarlos a materiales de construcción como placas de yeso o morteros.

En el caso de los aislantes térmicos, la nanotecnología ha permitido desarrollar materiales innovadores con conductividades térmicas inferiores a las de los materiales convencionales, cuyo rango oscila entre 0,025 y 0,060 W/m.K, aproximadamente. Un ejemplo de ellos es el aerogel, una espuma

aireada ultraligera y traslúcida compuesta de hasta un 99,9% de aire, con una conductividad térmica de hasta 0,015 W/m.K. Aún más extremos, en lo que a propiedades térmicas se refiere, son los paneles Vacuum Insulation Panels [VIP], cuyo principio de vacío permite que alcancen una conductividad térmica extremadamente baja de hasta 0,005 W/m.K.

Aunque el universo ínfimo de estos nanomateriales ofrece un enorme espectro de posibilidades para mejorar muchas de las propiedades que conocemos, aún se encuentra bastante alejado del contexto de la construcción nacional. Sin embargo, su enorme potencial puede constituir futuras líneas de innovación e investigación que aporten, por ejemplo, a la adaptación climática de los sistemas de construcción en seco.

Previo a esta visión hipertecnológica material, es importante distinguir el diseño del proyecto como la primera estrategia de mejoramiento de las condiciones ambientales interiores. Desde la perspectiva energética, los sistemas livianos de construcción deberían ser vistos con una mirada integral, considerando la rigurosidad en el diseño del proyecto y la incorporación de masa térmica en el conjunto donde sea posible, así como la utilización de estrategias bioclimáticas integradas que permitan optimizar el desempeño energético y las condiciones de confort del ambiente construido.

Bibliografía

- Araujo, R. (2009). El edificio como intercambiador de energía. *Tectónica*, (28), pp. 4-27.
- Díaz-Arnesto, G., Picción, A., Camacho, M., López, M. y Milicua, S. (2007). *Evaluación del desempeño térmico de un sistema constructivo liviano para la situación climática de Uruguay*. Informe final de proyecto de investigación I+D (llamado CSIC, 2004), Decca-IC, FADU, Udelar, Montevideo. Disponible en: http://www.fadu.edu.uy/ic/files/2012/03/CSICID_2007.pdf (consultado en agosto de 2019).
- Leydecker, S. (2008). *Nano materials in Architecture, Interior Architecture and Design*. Berlín: Birkhäuser.
- Picción, A., Camacho, M., López, M. y Milicua, S. (2009). *Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo*. Informe final de proyecto de investigación (PDT, DICYT y MEC, 2006-2008), Decca-IC, FADU, Udelar, Montevideo. Disponible en: <http://www.fadu.edu.uy/ic/files/2019/08/PDT06.pdf> (consultado en agosto de 2019).
- Trebilcock, M. (Ed.). (2012). *Manual de hermeticidad al aire de edificaciones*. Concepción: Universidad de Bío Bío. Disponible en: https://issuu.com/citecubb/docs/manual_web (consultado en agosto de 2019).
- UNIT. (1999). *Aislamiento térmico de los edificios - Zonificación climática*. UNIT 1026:99. Montevideo: UNIT.
- UNIT. (2010). *Desempeño térmico de los edificios de uso residencial. Diseño de la envolvente. Parámetros y guías para el cálculo*. UNIT 1150:2010. Montevideo: UNIT.