



Revista
Hábitat
Sustentable

ISSN 0719-0700
Vol. 6 N.º 2
Diciembre
2016



UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO



Revista
Hábitat
Sustentable

ISSN 0719-0700
Vol. 6 N°. 2
Diciembre
2016



UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO

- 05 **EDITORIAL**
- Dra. Claudia Muñoz Sanguinetti
- 06 **DESEMPEÑO TÉRMICO DE CUBIERTAS VERDES EN CIUDADES DE ZONAS ÁRIDAS**
- Juan E. Flores Asin, Claudia F. Martinez, JM. Alicia Cantón, ERICA N. CORREA
- 16 **VALORACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD URBANA Y EL HABITAR EN LA VIVIENDA PÚBLICA EN CUENCA, ECUADOR.**
- María Augusta Hermida Palacios, Pablo Osorio Guerrero, Natasha Cabrera Jara, Sebastián Vanegas Bravo
- 30 **MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS. PARA ALÉM DA ENERGIA OPERACIONAL.**
- Carlos Oliveira Augusto, Luís Bragança, Manuela Almeida
- 40 **EVALUACIÓN HIGROTÉRMICA Y ENERGÉTICA DE UN EDIFICIO ESCOLAR PERTENECIENTE AL PROGRAMA NACIONAL 700 ESCUELAS, EN EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JUAN, ARGENTINA.**
- María Guillermina Ré, Irene Blasco Lucas, Irene Blasco Lucas
- 52 **ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE SOBRECALENTAMIENTO Y DEL POTENCIAL DE REFRIGERACIÓN POR VENTILACIÓN NATURAL DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN CIUDADES COSTERAS DE CHILE**
- Massimo Palme, Claudio Carrasco, Miguel Ángel Galvez
- 62 **DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA PARA VALIDAR LA INFLUENCIA DEL COMPORTAMIENTO DEL USUARIO SOBRE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS PÚBLICOS DE OFICINAS**
- Alción de las Pléyades Alonso Frank, Ernesto Kuchen
- 70 **EL IMPACTO DE LOS PROYECTOS INMOBILIARIOS Y SUS ATRIBUTOS DE SUSTENTABILIDAD SOBRE EL VALOR DEL SUELO: ¿CAUSA O CONSECUENCIA? DOS ESTUDIOS DE CASOS PARA SANTIAGO DE CHILE**
- Felipe Encinas, Carlos Marmolejo, Carlos Aguirre
- 80 **ENSINO DE PROJETO ARQUITETÔNICO COM ENFOQUE AMBIENTAL: A EXPERIÊNCIA DE UMA DISCIPLINA DE PROJETO INTEGRADO DE ARQUITETURA E CONFORTO TÉRMICO.**
- Amilcar José Bogo, Keila Tyciana Peixer, Daniela Koball

Editorial

La revista Hábitat Sustentable surgió el año 2011 con el impulso de un proyecto de investigación internacional sobre Diseño Integrado para la Reconstrucción de Viviendas Energéticamente Eficientes. Ello, en el marco de la recuperación de la zona centro-Sur de Chile, luego del terremoto y tsunami de 2010, que deterioraron gran parte de las viviendas existentes, como también dentro del amplio proceso de reconversión arquitectónica que implica adaptarse al cambio climático y a una edificación más sustentable. Estos enormes desafíos requieren una colaboración extensa de las mejores capacidades profesionales, de manera que se planteó realizar una publicación científica que convocara investigaciones en esta área, con la meta de alcanzar prontamente los registros científicos que validaran un nivel académico de selectividad y rigor. Las indexaciones de revistas pretenden, por cierto y más allá de establecer categorías, asegurar que se produzca una difusión amplia del conocimiento y una focalización en los avances más significativos, independiente de quienes los hayan producido.

Estas motivaciones condujeron la gestación de la revista y su orientación hacia la arquitectura, la construcción y el urbanismo sustentable, en particular dentro del ámbito latinoamericano, con una estructura científica y abierta. A partir de ese enfoque, se utilizó desde el comienzo un formato en línea, de distribución gratuita y con una plataforma (Open Journal System), que permitiera la gestión editorial de artículos y revisores. Esta implementación implica disponer de un equipo técnico responsable y persistente, y de una comunidad académica amplia y colaborativa. Ambas condiciones, además del permanente apoyo institucional de la Universidad del Bío-Bío, han sostenido a la Revista Hábitat Sustentable y a sus progresivos resultados de publicación en ediciones semestrales y diversas indexaciones académicas, tales como Latindex, Directory of Open Access Journals (DOAJ), AveryIndex y REDIB, entre otras.

Hoy día, a seis años de su primera edición, HS ha dado muestras de su grado de madurez y fortalecimiento como revista científica, obteniendo la indexación en Web of Science – Emerging Sources Citation Index (ESCI). Este importante logro nos enorgullece y da cuenta que todos los esfuerzos realizados están siendo

reconocidos y valorados. Actualmente, se dispone de muy pocas revistas indexadas en español en estas áreas, por lo que la selección de HS de la Universidad del Bío-Bío viene a ampliar la visibilidad latinoamericana y la proyección institucional, respaldando la reflexión y el avance del ambiente construido.

A través de esta columna editorial, más bien histórica y reflexiva, me permito llevar a cabo un público reconocimiento a quienes han hecho posible que HS alcance los estándares de indexación conseguidos. En primer lugar, a sus creadores por la visión y apuesta a abrir la discusión y reflexión sobre el ambiente construido y hábitat sustentable: Dra. Maureen Trebilcock y Dr. Rodrigo García, Director de HS. Asimismo, al equipo humano y de profesionales comprometidos con la calidad del resultado obtenido en cada edición: MS. Theresa St John en su relevante rol de productora, Dra. Olga Ostría por su importante aporte como correctora de estilo, Ignacio Sáez por su talento y excelente disposición en la diagramación de HS y a Karina Leiva, Ingeniera Civil en Informática, quien ha sido un aporte sustancial en la producción de HS. Nuestra gratitud va también a todos nuestros revisores externos, sin el apoyo de los cuales HS no habría alcanzado el citado estándar. Y, desde luego, a los autores por la confianza depositada en HS.

Por último, agradecemos muy especialmente a la Dirección General de Investigación Universidad del Bío-Bío (DITEC-UBB), por su permanente respaldo y financiamiento a través del Convenio de Desempeño de Innovación en Biomateriales y Eficiencia Energética para el Hábitat Sustentable (MECESUP CD-INES), como igualmente el apoyo y compromiso brindado por la Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño a través de su Decana, María Cecilia Poblete.

Con el gusto de compartir esta gratificante noticia, los invitamos finalmente a leer el presente número, correspondiente a diciembre de 2016, el cual incluye ocho artículos provenientes de Argentina, Brasil, Ecuador y Chile. Un nutrido repertorio seleccionado rigurosamente, con sólidas aportaciones al conocimiento para el desarrollo sostenible del hábitat y ambiente construido.



DESEMPEÑO TÉRMICO DE CUBIERTAS VERDES EN CIUDADES DE ZONAS ÁRIDAS

THE THERMAL PERFORMANCE OF GREEN ROOFS IN ARID CITIES

JUAN E. FLORES ASIN

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía -INAHE- CCT Conicet
Mendoza. Mendoza, Argentina
eflores@mendoza-conicet.gob.ar

JM. ALICIA CANTÓN

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía -INAHE- CCT Conicet
Mendoza. Mendoza, Argentina
ecorrea@mendoza-conicet.gob.ar

CLAUDIA F. MARTINEZ

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía -INAHE- CCT Conicet
Mendoza. Mendoza, Argentina
cmartinez@mendoza-conicet.gob.ar

ERICA N. CORREA

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía -INAHE- CCT Conicet
Mendoza. Mendoza, Argentina
macanton@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN

Las cubiertas verdes constituyen una estrategia de enverdecimiento urbano que contribuye a reducir los efectos del calentamiento global, disminuyendo las temperaturas urbanas y los consumos de energía en espacios interiores derivados del acondicionamiento térmico, para alcanzar condiciones de confort en verano. Sin embargo, su implementación en zonas áridas está supeditada al uso de especies vegetales de bajo consumo de agua. Este trabajo evalúa el desempeño térmico de cubiertas verdes con dos especies de distinto hábito de crecimiento y requerimiento hídrico: *Aptenia cordifolia* y *Sedum spectabile*. Con tal fin se desarrollaron mediciones de variables meteorológicas en módulos experimentales, mediante microadquisidores de datos, durante la estación verano 2015. Los resultados obtenidos demuestran que las cubiertas verdes permiten disminuir la temperatura media interior en 2°C, la amplitud térmica en 8°C y la temperatura máxima en 6°C, con diferencias poco significativas entre las especies evaluadas (0.5°C). Estos valores reflejan la eficiencia térmica de dichas cubiertas y la necesidad de ampliar las especies vegetales estudiadas para determinar rangos de beneficio en torno a especies de baja demanda hídrica y alta disponibilidad local.

Palabras clave

cubiertas verdes, desempeño térmico, demanda hídrica, variedades vegetales

ABSTRACT

Green roofs are an urban greening strategy that mitigates the effects of global warming by reducing urban temperatures and energy consumption derived from indoor thermal conditioning used to achieve comfort conditions in summer. However, its implementation in arid cities is dependent upon the use of plant species with low water consumption. This paper assesses the thermal performance of green roofs employing two species with different growth habits and water demand: *Aptenia cordifolia* and *Sedum spectabile*. To this end, meteorological variables were measured in experimental cells by data loggers during the 2015 summer season. The results show that green roofs reduce average interior temperature by 2 °C, thermal amplitude by 8 °C, and maximum temperature by 6 °C, while Differences between the species tested were insignificant (0.5 °C). These values reflect the thermal efficiency of green roofs and the need to increase the number of species studied in order to determine the different benefits from species with low water consumption and high local availability.

Keywords

green roofs, thermal behavior, water demand, plant varieties

Módulos experimentales	Cubierta Tradicional (CT)	Cubierta verde <i>Aptenia cordifolia</i> (CV _{Ac})	Cubierta verde <i>Sedum spectabile</i> (CV _{Se})
			

Figura 1. Diseño experimental. Fuente: Elaboración de los autores.

INTRODUCCIÓN

Una de las estrategias dirigidas a garantizar la sustentabilidad del medio construido y mitigar el fenómeno de isla de calor urbana lo constituye el “enverdecimiento urbano”, es decir, la incorporación de espacios verdes en las ciudades (Clarck y Matheny, 1998).

En las últimas décadas, han surgido nuevas tecnologías -techos y muros verdes- asociadas a la necesidad de aumentar la relación entre la biomasa y las edificaciones en ciudades consolidadas, o sea, en medios urbanos donde la disponibilidad de vacíos es escasa y, en consecuencia, el potencial de incorporación de estructuras verdes tradicionales es limitado.

Esta nueva tendencia en el planeamiento urbano constituye una alternativa viable que impacta tanto a escala urbana como edilicia. En la primera, reduce los efectos del calentamiento global y disminuye las temperaturas del espacio resultante de la articulación de la trama edilicia. En la segunda, esto es, en los espacios interiores, reduce los consumos de energía derivados del acondicionamiento térmico para alcanzar condiciones de confort en la estación cálida (Alexandri y Jones, 2008).

A nivel internacional, numerosos autores han descrito y cuantificado los beneficios de los techos verdes asociados a la determinación de las temperaturas superficiales de las cubiertas verdes, la temperatura del aire en espacios interiores y espacios urbanos mediatos, con el objeto de determinar el impacto de los sistemas conformados por distintas especies vegetales en la demanda de energía para refrigeración (La Roche, 2009). Dichas investigaciones muestran que las cubiertas verdes pueden disminuir entre 60 y 90% el flujo de calor a través del techo y entre 0.8 y 3°C la temperatura interior (Rosenzweig *et al.*, 2009; Qiu *et al.*, 2013). El alcance y la extensión de estos beneficios varía en función del clima, la tecnología de la envolvente edilicia y las características de la cubierta verde que condicionan el mecanismo de enfriamiento preponderante (Cameron, Taylor y Emmett, 2014).

En Argentina, el interés por estas tecnologías se ha incrementado a partir del año 2013 con la aprobación de la Ley N°4.428. Esta ley tiene por objeto la implementación de “Techos o Terrazas Verdes” en el ámbito de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Desde entonces han surgido, además de programas, documentos y aplicación en obras emblemáticas, empresas generadoras de esta tecnología con aplicación en obra y uso de materiales utilizados en otros países. Sin embargo, su implementación requiere evaluar el desempeño térmico del sistema en relación a las distintas zonas climáticas que caracterizan a la región.

En el caso particular de Mendoza, el ambiente físico está caracterizado por la aridez, de manera que el recurso hídrico es escaso -Índice de aridez=1.7; Precipitación anual=200mm (González Loyarte, Menenti y Diblasi, 2009)-. A nivel urbanístico, la estructura de la ciudad responde al modelo reconocido internacionalmente como *ciudad oasis*, con una fuerte presencia de verde dispuesto a lo largo de calles, parques, plazas y patios (Bórmida, 1986). El crecimiento sostenido de la ciudad en los últimos años no ha sido acompañado de un proceso de densificación de los espacios verdes, por lo que no se dispone, en la actualidad, de vacíos urbanos para la inserción en la trama de estructuras verdes tradicionales.

En las áreas de mayor demanda de espacios verdes -alta densidad edilicia-, la ciudad cuenta con un elevado porcentaje (60%) de cubiertas planas potencialmente aptas para la implementación de tecnologías verdes (Flores Asin, Martínez y Cantón, 2013). No obstante, su incorporación masiva requiere del diseño y evaluación de sistemas de naturación extensivo bajo las condicionantes que las ciudades de zonas áridas imponen, en particular la restricción hídrica. Esto implica evaluar la eficacia y eficiencia de los sistemas asociados a vegetación de bajo consumo de un recurso escaso pero vital para garantizar la permanencia en el tiempo de las áreas verdes.

Este trabajo evalúa el desempeño térmico de cubiertas verdes con especies que presentan distinta morfología y demanda hídrica, con el propósito de identificar paquetes biológicos factibles de ser empleados como estrategia de acondicionamiento natural de espacios interiores en ciudades de zonas áridas.

Tabla 1. Características de las especies vegetales evaluadas. Fuente: Elaboración de los autores.

Especie	<i>Apteniacordifolia</i>	<i>Sedumspectabile</i>
Característica		
Poder tapizante (%)	73	68
Consumo hídrico (litros.m ² /año)	268	291
Hábito de crecimiento	Rastrero	Erguida

METODOLOGÍA

DISEÑO EXPERIMENTAL.

El diseño experimental responde a la metodología propuesta por La Roche (2009) y tiene por objetivo analizar en forma comparativa la influencia de cubiertas verdes (CV), respecto a cubiertas tradicionales (CT), en el comportamiento térmico de espacios interiores. Para ello, se montaron tres módulos de ensayo en el área experimental del CCT CONICET Mendoza (32°53'52.83"S, 68°52'31.30"O) que permitieran comparar sistemas verdes con distintos paquetes biológicos, respecto a una cubierta tradicional (Figura 1).

Los módulos experimentales conforman volúmenes ciegos de 1m³, de carácter liviano y aislado al exterior. Tecnológicamente, muros y pisos están compuestos por tres capas: placa de cemento en la cara interior (espesor: 10mm), aislación térmica de poliestireno expandido de baja densidad (espesor: 50mm) y placa de fenólico en la cara exterior (espesor: 18mm), acabado esmalte sintético color blanco. La cubierta es de hormigón armado (espesor: 150mm; peso específico 2400Kg/m³); dosificación en volumen: 1-3-3 (cemento, árido grueso y fino), aislada hidráulicamente con membrana Sika® Sarnafil F 610-12 Felt. El empleo de esta clase de cubierta tiene como finalidad evaluar el tipo constructivo comúnmente empleado en la resolución de techos en el parque edilicio de Mendoza.

La tecnología verde está definida por dos capas: una material (manto drenante Sika® GR Aquadrain Extensivo y sistema de riego por goteo subsuperficial) y una biológica. Ésta se compone de sacos de geotextil (3) contenedores del sustrato (arena, orujo agotado y turba negra en iguales proporciones; espesor: 150mm) y especies vegetales.

En este trabajo se evalúa dos especies de disponibilidad local y alta tasa de reproducción agámica, que fueron elegidas de un conjunto de 14 especies preseleccionadas: *Aptenia cordifolia* (L. f.) Schwant, "Baby rose", y *Sedum*

spectabile (Boreau) H. Ohba, "Sedum otoño" (Tabla 1). El análisis comparativo de ambas especies tiene el objetivo de analizar diferentes consumos hídricos y hábitos de crecimiento, con semejante poder tapizante y su incidencia en el comportamiento térmico de las tecnologías verdes y de los espacios interiores conexos.

MÉTODO DE MEDICIÓN

El comportamiento térmico de las tecnologías verdes en sí mismas y de los espacios interiores se evaluó a partir del registro de variables meteorológicas (temperatura de aire, temperatura y contenido de agua del sustrato, y temperatura superficial de la losa), en la estación verano durante un periodo de 24 días. Los datos se registraron cada 15 minutos bajo la siguiente configuración: cinco sensores por módulos con cubierta verde, tres en el módulos testigo y uno de referencia en el espacio abierto.

La ubicación de los sensores se definió en función de ensayos previos dirigidos a determinar la posición más representativa respecto a la variable a medir y evitar la influencia de factores externos. Los sensores localizados en los módulos de ensayo se distribuyeron del siguiente modo: uno en el espacio interior (T_i), dos en la losa de hormigón en la cara superior (T_{SSL}) e inferior (T_{SIL}); y dos en el sustrato (T_s y C_{AS}) para los módulos con cubierta verde (Figura 2).

Los sensores del tipo Onset® HOBOTM Soil Moisture EC5 S-SMC-M005 se calibraron en laboratorio de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, encontrándose en el rango de funcionalidad normal (aire: -0.193 a -0.139 m³/m³, agua: +0.521 a +0.557 m³/m³). Los sensores del tipo Onset® HOBOTM 12-bit Temp Sensor S-TMB-M002 fueron calibrados con salto de escalón térmico en laboratorio. El comportamiento fue uniforme y mostraron igual sensibilidad al enfriamiento y al calentamiento. Los desvíos se encontraron en un rango de ± 3.00 % respecto de la media general (rango de temperaturas del fabricante: -40 a 75°C).

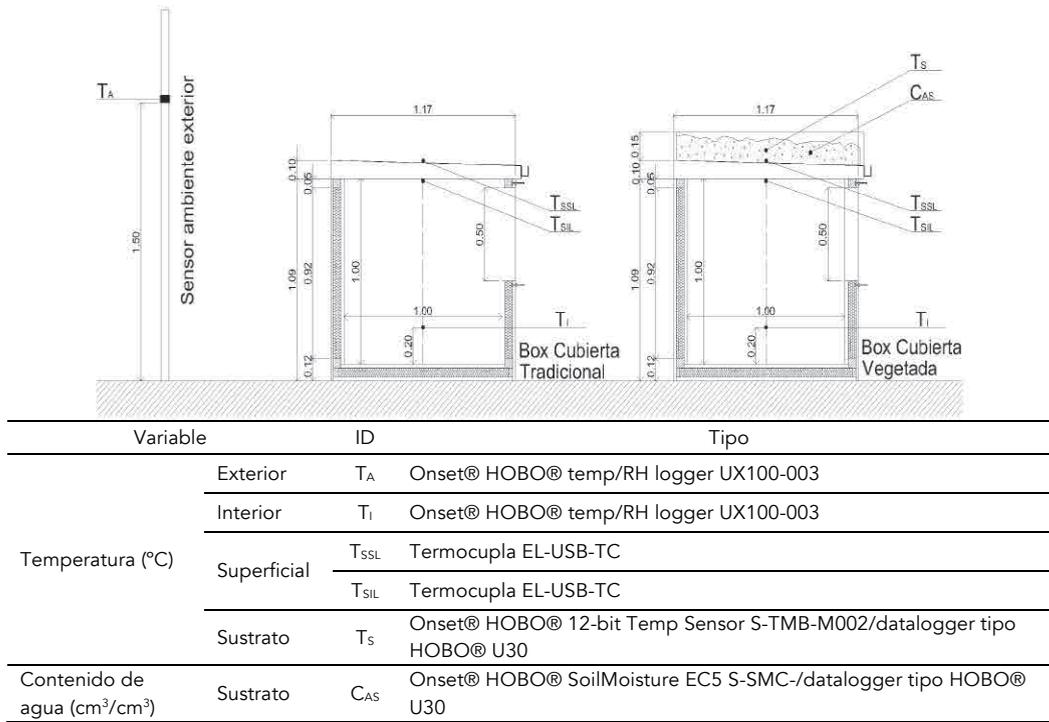


Figura 2. Método de medición e instrumental utilizado. Fuente: Elaboración de los autores.

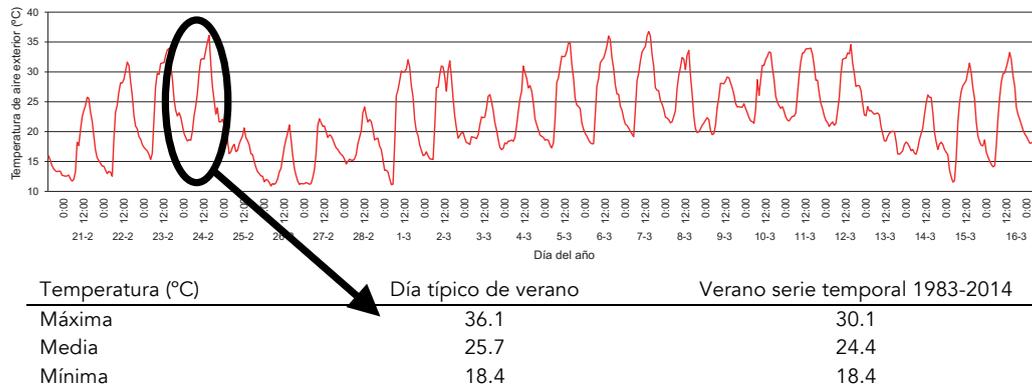


Figura 3. Periodo medido. Datos del día típico y de la serie temporal 1983-2014. Fuente: Elaboración de los autores.

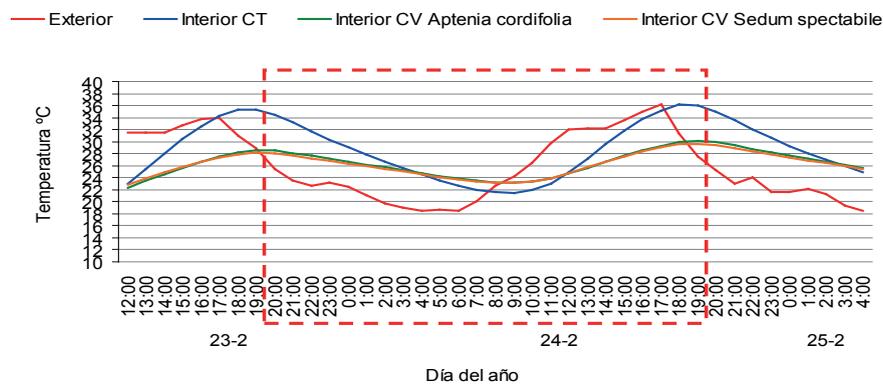


Figura 4. Comportamiento térmico del espacio interior. Fuente: Elaboración de los autores.

En el ambiente exterior se midió radiación solar total (W/m^2) con un piranómetro Star Pyranometer Mod3040-A Weather Tronic velocidad de viento (km/h) con un anemómetro Micro Response Anemometer Mod 2030 Weather Tronic. El almacenamiento de los datos se realizó en una memoria flash del tipo Secure Digital (SD).

RESULTADOS

Los datos obtenidos de las mediciones fueron promediados en forma horaria. La curva de temperatura exterior (Figura 3), en el periodo monitoreado, muestra un comportamiento inestable con diferencias en las temperaturas máximas y mínimas del orden de los $11^\circ C$ (máximas 20.6 a $36.8^\circ C$ y mínimas $11.2^\circ C$ a $22.6^\circ C$).

A efectos de tomar como unidad de estudio un día típico de verano, se compararon los datos medidos con los datos medios históricos para la serie temporal 1983-2014 correspondientes a la estación meteorológica CCT CONICET – Mendoza.

La contrastación de datos permitió seleccionar el día 23 de febrero con una diferencia en la temperatura media de $1.3^\circ C$ respecto a los datos medios históricos. Para dicho día se consideró el rango horario de 24 horas, comenzando a las 20:00h. El día elegido presenta condiciones de asoleamiento en días previos (Figura 3). Figura 3. Periodo medido. Datos del día típico y de la serie temporal 1983-2014. Fuente: Elaboración de los autores.

Los resultados se presentan en función de evaluar comparativamente las distintas variables para los módulos experimentales planteados mediante análisis térmico y análisis de correlación.

COMPORTAMIENTO TÉRMICO.

Los resultados obtenidos se analizan en forma comparativa para los tres módulos experimentales -CT, CV_{Ac} y CV_{Se} - en torno a la influencia de la cubierta de los mismos en la temperatura del aire del espacio interior, temperatura superficial de la losa, y temperatura y contenido de agua del sustrato.

ESPACIO INTERIOR.

Temperatura del aire.

La Figura 4 muestra el comportamiento de la temperatura exterior y la del aire interior en cada uno de los módulos de ensayo. Se observa un retardo entre las temperaturas máximas y mínimas en el interior de cada uno de las cubiertas verdes respecto a la temperatura exterior equivalente a 3 horas durante el calentamiento y a 5 horas durante el enfriamiento, lo cual evidencia el efecto de la tecnología verde en la temperatura interior.

Es notable la diferencia de la amplitud térmica entre el exterior y el interior de cada uno de los módulos. Su valor es superior a $3^\circ C$ en CT y alcanza una diferencia de 10 a $11^\circ C$ en los módulos CV_{Ac} y CV_{Se} (Tabla 2).

Al considerar la magnitud del retardo y el valor de la temperatura interior entre los picos y valles de las curvas, se presentan diferencias que manifiestan el efecto particular de cada cubierta verde respecto de la temperatura interior del CT. Mientras la amplitud térmica de la temperatura interior en los módulos con cubierta verde está atenuada -6 a $7^\circ C$ -, se aprecia una diferencia importante respecto a la amplitud térmica de la temperatura interior del TT $-14^\circ C$ - y respecto a la del ambiente $-17^\circ C$ - (Tabla 2).

Tabla 2. Temperatura y amplitud térmica. Fuente: Elaboración de los autores.

Temperatura ($^\circ C$)	Interior			
	CT	CV_{Ac}	CV_{Se}	
Mínima	18.4	21.5	23.2	23.1
Media	25.7	28.1	26.2	26.0
Máxima	36.1	36.1	30.1	29.7
Amplitud térmica	17.7	14.6	6.9	6.6

La temperatura media interior del módulos testigo es $2.5^\circ C$ superior a la media exterior y las temperaturas medias de los módulos CV_{Ac} y CV_{Se} son semejantes entre sí y a la exterior, pero inferiores respecto al testigo con cubierta tradicional, en un rango de 1.9 - $2.1^\circ C$ (Tabla 2).

La temperatura máxima en el interior de CT es igual a la exterior. Al comparar las temperaturas máximas interiores entre módulos con cubierta verde respecto al módulo testigo con cubierta tradicional, se observa que CV_{Ac} se encuentra $6.0^\circ C$ por debajo de CT y CV_{Se} $6.5^\circ C$ (Tabla 2).

Al comparar los módulos CV_{Ac} y CV_{Se} , se advierte que las mayores temperaturas se dan en CV_{Ac} , aunque las diferencias entre valores medios, mínimos, máximos y amplitud térmica, son despreciables y del orden de $0.2^\circ C$, $0.1^\circ C$, $0.5^\circ C$ y $0.4^\circ C$, respectivamente (Tabla 2).

LOSA

Temperatura superficial.

La curva de la temperatura superficial en la cara exterior de la losa, en CT, muestra un comportamiento similar a la temperatura exterior con un desfase horario de una hora, tanto en el periodo de enfriamiento (desde las 20:00 h. hasta las 07:00 h.) como en el periodo de calentamiento (desde las 07:00 h. hasta las 20:00 h.). Alcanza una temperatura máxima de $35.3^\circ C$ y una mínima de $18.6^\circ C$. La cara inferior presenta mayores temperaturas respecto a la cara superior, alcanzando un valor máximo de $39.3^\circ C$ y un mínimo de $21.9^\circ C$. Las mayores temperaturas inferiores resultan del efecto combinado de la ganancia térmica y la inercia de la envolvente -paramentos verticales y horizontales- (Figura 5).

Las temperaturas encaras superior e inferior de la losa en los módulos con cubiertas verdes son significativamente menores a los alcanzados en CT, semejantes entre sí y homogéneas. Alcanzan temperaturas que oscilan entre $22^\circ C$

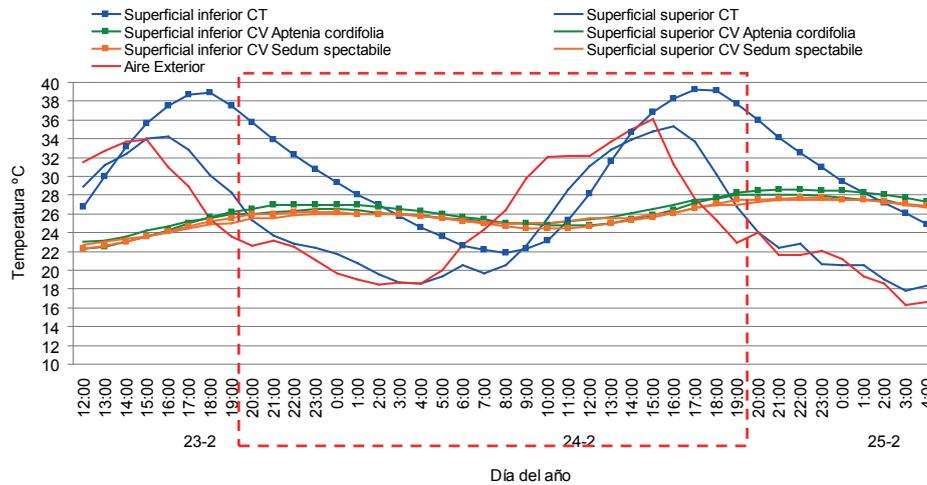


Figura 5. Temperatura superficial de la losa. Fuente: Elaboración de los autores.

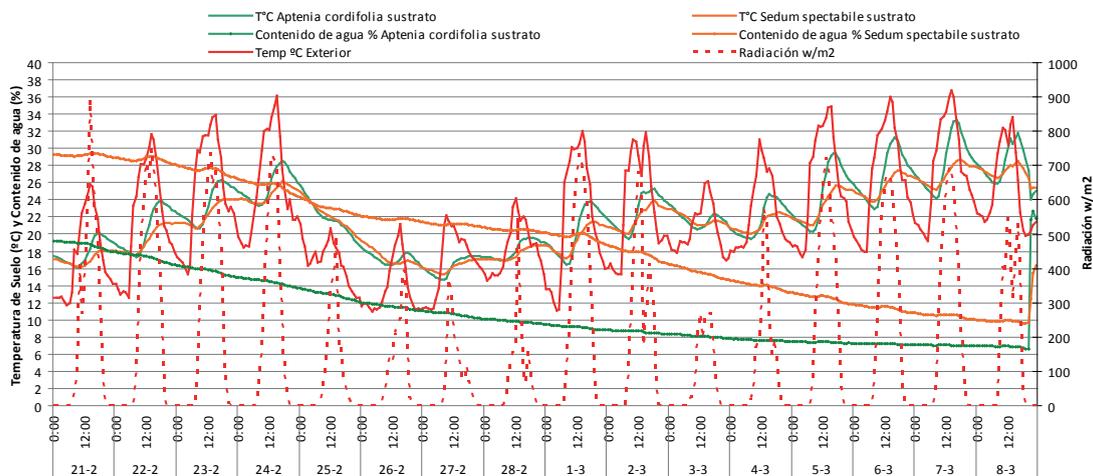


Figura 6. Temperatura y contenido de agua del sustrato: período entre riegos y día típico. Fuente: Elaboración de los autores.

y 29°C (amplitud térmica 7°C). El comportamiento térmico en CV_{Ac} presenta temperaturas máximas superficiales levemente mayores en la cara superior de la losa (26.5°C) respecto al CV_{Se} (26.0°C) y semejantes en las temperaturas mínimas (25.0°C). Esta leve diferencia en las temperaturas máximas se debe a las características propias de las especies en estudio (Figura 5).

Las temperaturas superficiales de la cara inferior de la losa son mayores a las de la superior en el periodo de enfriamiento (de 21:00 h. a 12:00 h.) y menores en el periodo de calentamiento (de 12:00 h. a 21:00 h.). Al igual que en el módulos CT, este comportamiento se debe al efecto de la ganancia térmica y la inercia de la losa de hormigón (Figura 5).

SUSTRATO

Temperatura y contenido de agua (Figura 6).

El contenido de agua del sustrato ha sido analizado para un periodo de 16 días con condición estable, es decir, un lapso entre dos riegos sucesivos sin aporte de precipitaciones. Este criterio se sustenta en que la variable cumple un ciclo entre dos riegos debido a las propiedades físicas del sustrato-textura y estructura-, cuyo comportamiento está asociado a la variación diaria de la humedad en función de aportes de agua, variables meteorológicas y la influencia del sistema radical de las plantas.

CV_{Ac} presentó un menor rango de variabilidad de contenido de agua del sustrato, entre 6.9 y 19.2% -amplitud 12.3%-, en cambio, CV_{Se} exhibió un rango de 10.0 a 29.3% -amplitud 19.3%-.

Tabla 3. Matriz de correlaciones canónicas para CVAc. Fuente: Elaboración de los autores.

		Temperatura (°C)					Radiación (W/m ²)	Velocidad viento (Km/h)
		Sustrato	Superficial superior	Superficial inferior	Interior	Exterior		
Temperatura (°C)	Sustrato	1.00	0.93	0.89	0.96	0.67	0.14	0.15
	Superficial superior	0.93	1.00	0.99	0.94	0.43	-0.11	0.01
	Superficial inferior	0.89	0.99	1.00	0.94	0.34	-0.21	-0.06
	Interior	0.96	0.94	0.94	1.00	0.54	-0.06	0.07
	Exterior	0.67	0.43	0.34	0.54	1.00	0.72	0.51
Radiación W/m ²		0.14	-0.11	-0.21	-0.06	0.72	1.00	0.65
Velocidad viento Km/h		0.15	0.01	-0.06	0.07	0.51	0.65	1.00

Tabla 4. Matriz de correlaciones canónicas para CVSe. Fuente: Elaboración de los autores.

		Temperatura (°C)					Radiación (W/m ²)	Velocidad viento (Km/h)
		Sustrato	Superficial superior	Superficial inferior	Interior	Exterior		
Temperatura (°C)	Sustrato	1.00	0.99	0.98	0.95	0.53	0.00	0.08
	Superficial superior	0.99	1.00	1.00	0.92	0.41	-0.11	0.01
	Superficial inferior	0.98	1.00	1.00	0.94	0.38	-0.16	-0.02
	Interior	0.95	0.92	0.94	1.00	0.57	-0.02	0.10
	Exterior	0.53	0.41	0.38	0.57	1.00	0.72	0.51
Radiación W/m ²		0.00	-0.11	-0.16	-0.02	0.72	1.00	0.65
Velocidad viento Km/h		0.08	0.01	-0.02	0.10	0.51	0.65	1.00

Tabla 5. Matriz de correlaciones canónicas para CT. Fuente: Elaboración de los autores.

		Temperatura (°C)				Radiación (W/m ²)	Velocidad viento (Km/h)
		Superficial superior	Superficial inferior	Interior	Exterior		
Temperatura (°C)	Superficial superior	1.00	0.08	0.06	0.08	0.04	-0.06
	Superficial inferior	0.08	1.00	0.97	0.75	0.26	0.28
	Interior	0.06	0.97	1.00	0.61	0.04	0.14
	Exterior	0.08	0.75	0.61	1.00	0.72	0.51
Radiación W/m ²		0.04	0.26	0.04	0.72	1.00	0.65
Velocidad viento Km/h		-0.06	0.28	0.14	0.51	0.65	1.00

Las curvas que representan el contenido de agua del sustrato muestran un comportamiento diferenciado respecto a la cantidad volumétrica del mismo, y semejante respecto a la pendiente que representa la disminución del contenido hídrico en el suelo entre los días 21 y 28 de febrero. La velocidad de disminución de contenido de agua para ambas especies es constante hasta el 1 de marzo, alcanzando valores de 10% para CV_{Ac} y 21% para CV_{Se} . Los rangos en los que varía el contenido hídrico es de 9.7% para CV_{Ac} ($\Delta H_{CV_{Ac}}$) y de 9,1% para CV_{Se} ($\Delta H_{CV_{Se}}$). A partir de estos valores, el comportamiento de las especies se diferencia de la siguiente forma: CV_{Ac} disminuye la velocidad de descenso de la humedad, mientras que CV_{Se} la aumenta, poniendo de manifiesto las distintas capacidades de absorción de las especies en estudio ($\Delta H_{CV_{Ac}}=1.9\%$; $\Delta H_{CV_{Se}}=8.8\%$).

En el periodo comprendido entre riegos, las curvas que reflejan las temperaturas del sustrato muestran un comportamiento amortiguado respecto de la temperatura exterior. La temperatura máxima y la amplitud térmica del sustrato del CV_{Se} son menores (máx. media 23.9°C, amplitud media 3.1°C) respecto al CV_{Ac} (máx. media 26.1°C, amplitud media 5.9°C). Las temperaturas mínimas medias alcanzadas son similares (20.9°C CV_{Ac} , 20.2°C CV_{Se}).

Para el día típico, la temperatura exterior oscila en un rango de 25.7°C, con un máximo de 36.1°C y un mínimo de 18.4°C. La temperatura de sustrato presenta una amplitud térmica de 5.2°C para CV_{Ac} (máx. 28.5°C y mín 23.3°C) y de 2.6°C para CV_{Se} (máx. 26.1°C y mín. 23.5°C). La máxima de la temperatura exterior se presenta en forma desfasada con los valores máximos de radiación solar. Sin embargo, la temperatura máxima del sustrato coincide con la máxima de la temperatura exterior. Las magnitudes se encuentran atenuadas 10.0°C para CV_{Se} y 7.6°C para CV_{Ac} . Estos comportamientos evidencian la capacidad del paquete biológico de regular la temperatura exterior.

La temperatura del sustrato aumenta a medida que la cantidad de agua disminuye, lo que demuestra la incidencia del contenido hídrico sobre la inercia térmica del sustrato.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS.

Los datos obtenidos se analizaron con InfoStat, un software para análisis estadístico de aplicación general desarrollado bajo la plataforma Windows (Universidad Nacional de Córdoba, 2008). Se realizó una matriz de correlaciones canónicas para análisis multivariado, con el objeto de evaluar la correlación entre la temperatura interior y las variables independientes que influyen sobre la magnitud de la misma (Tablas 3, 4 y 5).

La temperatura interior en los módulos CV_{Ac} y CV_{Se} depende de la temperatura del sustrato, alcanzando valores de correlación superiores a 0.9 en ambas especies. La temperatura del sustrato (paquete biológico) se correlaciona con la temperatura exterior (0.67 CV_{Ac} , 0.53 CV_{Se}) y ésta depende de la radiación solar (0.72) y de la velocidad de viento (0.51). Si bien radiación y velocidad de viento se correlacionan estadísticamente con la temperatura exterior, no lo hacen directamente con ninguno de los estratos que forman parte del camino que debe atravesar el flujo de calor hacia el interior de los módulos experimentales. Por lo tanto, el análisis estadístico indicaría que la influencia de la temperatura exterior sobre la interior es indirecta.

Las relaciones entre variables descriptas previamente muestran que la temperatura interior depende del paquete biológico y éste de la temperatura exterior, por tanto, la respuesta térmica de las tecnologías verdes en espacios interiores depende de la condición climática del sitio de emplazamiento.

El comportamiento térmico en el interior de los módulos con cubiertas verdes se correlaciona con la temperatura superficial de la losa de hormigón en ambas caras -con valores de correlación superiores a 0.9-. Esto parecería indicar que la tecnología de la cubierta tiene influencia sobre la temperatura interior en espacios que han incorporado tecnologías verdes.

La temperatura interior del CT muestra mayor dependencia de la temperatura exterior -0.61-, que la de los módulos con cubierta verde -0.54 para CV_{Ac} y 0.57 para CV_{Se} -.

CONCLUSIONES.

De los resultados obtenidos mediante los ensayos experimentales se puede concluir que en un día típico de verano en la ciudad de Mendoza, el uso de tecnologías verdes sobre techos planos permite disminuir la amplitud térmica interior alrededor de 8°C y la temperatura máxima, 6°C. El mismo efecto se observa en la temperatura media interior, que decae al menos 2°C con el uso de cubiertas verdes, respecto a un techo tradicional sin vegetar.

La reducción de la temperatura en espacios interiores contribuye a moderar los consumos de energía en el ambiente construido. Estudios previos muestran que en viviendas con tecnologías de envolvente másica, disminuciones de temperatura del orden de 1°C aminoran en un 27% los consumos de energía derivados de la necesidad de enfriamiento para alcanzar condiciones de confort. Esto implica que pequeñas diferencias de temperatura generan un alto impacto en la demanda energética para el acondicionamiento térmico de espacios interiores (Cantón y Fernández, 2010).

Los comportamientos térmicos entre los módulos de ensayo con diferentes especies vegetales -*Sedum spectabile*, *Aptenia cordifolia*- muestran diferencias poco significativas. Las temperaturas máximas alcanzadas en el interior de los módulos difieren en 0.5°C. Ello significa que es necesario ampliar el universo de especies en estudio para identificar mayores rangos de eficiencia. Además, el criterio de selección de especies en zonas áridas debe asociarse principalmente a la demanda hídrica y la disponibilidad local. De las especies estudiadas, *Aptenia cordifolia* muestra ser una especie compatible con esta condición (*Aptenia* sp. 268 litros.m²/año; *Sedum* sp. 291 litros.m²/año).

La temperatura superficial en la cara externa de las losas en los módulos con cubiertas verdes exhibe condiciones de estabilidad, siendo su amplitud térmica 13°C menor respecto al módulo testigo. La temperatura máxima superficial es del orden de 34°C en el módulo testigo y de 26°C en los módulos con cubiertas verdes. Desde el punto de vista tecnológico, la reducción de la amplitud térmica representa un beneficio asociado al aumento de la vida útil de la aislación, debido a su exposición a condiciones térmicas más favorables (Jaffal, Ouldboukhitine y Belarbi, 2012).

Los resultados alcanzados respecto a la temperatura y contenido de agua del sustrato evidencian que a mayor contenido de agua es mayor la estabilidad térmica. Este comportamiento se observa en la cubierta vegetada con *Sedum spectabile* donde el mayor calor

específico del agua respecto del aire, provoca que la ganancia térmica modifique en menor medida la temperatura del sustrato. El uso de especies que conservan mayor contenido de agua en el sustrato permite mayor inercia térmica en el mismo, logrando un beneficio con respecto al aislamiento térmico hacia el interior. La especie *Sedum spectabile* demostró un comportamiento más dinámico respecto a la tasa de absorción de agua. Las desiguales tasas de absorción se deben a diversos factores: características fisiológicas diferenciales según especies, distinta estructura del sustrato debido al sistema radical de cada especie y disímiles requerimientos hídricos.

El paquete biológico en un día representativo de verano se comporta como un aislante, disminuyendo las temperaturas máximas exteriores a nivel de sustrato en más de 7°C y la amplitud térmica en más de 12°C con respecto a la exterior.

Los resultados del tratamiento estadístico de los datos indican que el comportamiento térmico de espacios interiores con cubiertas verdes está correlacionado con la temperatura superficial de la losa en la cara superior e inferior, y éstas, a su vez, con la temperatura del paquete biológico. Mientras que dicha temperatura está asociada al contenido hídrico del sustrato y a la temperatura exterior. Esto demuestra que intervenir sobre el diseño y los componentes de la cubierta verde permite desarrollar diferentes estrategias para regular el desempeño térmico de los espacios interiores en función del clima en el cual se inserta la tecnología.

Un análisis crítico de la cubierta verde revela que:

-respecto al sustrato y atendiendo a la sustentabilidad del sistema, su viabilidad está asociada al bajo peso específico (que permita controlar la sobrecarga en la estructura edilicia), a la disponibilidad local y al bajo costo, en la medida en que se busca propiciar un sistema posible de ser implementado en forma masiva.

-respecto a las especies, si bien aquellas empleadas en cubiertas verdes a nivel internacional pertenecen en su mayoría al género *Sedum*, bajo condiciones de clima árido, la tendencia de uso debiera orientarse a especies nativas o adaptadas para asegurar la cobertura vegetal (Klein y Coffman, 2015). En este sentido, es pertinente atender al uso de especies vegetales adaptadas al rigor climático local y de alta disponibilidad regional, como es el caso de *Aptenia cordifolia*.

AGRADECIMIENTOS.

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICET) y a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCYT) la financiación recibida para el desarrollo de esta investigación. Así también a las Empresas SIKA ARGENTINA y SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS S.A. por sus contribuciones al desarrollo de ensayos experimentales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRI, Eleftheria y JONES, Phil. Temperature decreases in as urban canyon due to green walls and green roof in diverse climates. *Building and Environment-Elsevier*, 2008, n° 43, pp.480-493.

BÓRMIDA, Eliana. Mendoza, modelo de ciudad oasis. *Revista SUMMA*, 1986, n° 226, pp. 68-72.

CAMERON, Ross W. F.; TAYLOR, Jane E. T. y EMMETT, Martin R. What's 'cool' in the world of green façades? How plant choice influences the cooling properties of green walls. *Building and Environment*, 2014, n° 73, pp. 198-207.

CANTÓN, María Alicia y FERNÁNDEZ, Jorge. Efecto de los toldos en las condiciones térmicas del espacio abierto y su influencia en los interiores en zonas áridas. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2010, n° 26, pp. 1-8.

CLARCK, James R. y MATHENY, Nelda P. A model of Urban Forest Sustainability: Application to Cities in the United States. *Journal of Arboriculture*, 1998, vol. 24, n° 2, pp. 112-120.

FLORES ASIN, Juan Emiliano; MARTÍNEZ, Claudia Fernanda y CANTÓN, María Alicia. 2013. Tecnologías verdes. Potencial de aplicación en el área metropolitana de MENDOZA (AMM). En: *Acta de la XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente (22 al 25 de octubre de 2013)*. Tucumán, Argentina, 2013, pp.05.115-05.120.

GONZÁLEZ LOYARTE, María Margarita; MENENTI, Massimo y DIBLASI, Ángela M. Mapa bioclimático para las Travesías de Mendoza (Argentina) basado en la fenología foliar. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Cuyo*, 2009, n° 41, pp. 105-122.

JAFFAL, Issa; OULDBOUKHITINE, Salah-Eddine y BELARBI, Rafik. A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. *Renewable Energy-Elsevier*, 2012, n° 43, pp. 157-164.

KLEIN, Petra M. y COFFMAN, Reid. Establishment and performance of an experimental green roof under extreme climatic conditions. *Science of the Total Environment-Elsevier*, 2015, n° 512-213, pp. 82-93.

LA ROCHE, Pablo. Low Cost Green Roofs for Cooling: Experimental series in a hot and dry climate. En: *PLEA2009 (22-24 June 2009) - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture* [en línea]. Quebec City, Canada, 2009. [Consultado 10 diciembre 2016]. Disponible en: <http://www.plea2009.arc.ulaval.ca/Papers/2.STRATEGIES/2.2%20Heating%20and%20Cooling/ORAL/2-2-17-PLEA2009Quebec.pdf>

QIU, Guo-yu; LI, Hong-yong; ZHANG, Qing-tao; CHEN, Wan; LIANG, Xiao-jian y LI, Xiang-ze. Effects of Evapotranspiration on Mitigation of Urban Temperature by Vegetation and Urban Agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, 2013, n° 12, pp. 1307-1315.

ROSENZWEIG, Cynthia; SOLECKI, William D.; PARSHALL, Lily; LYNN, Barry; COX, Jennifer; GOLDBERG, Richard; HODGES, Sara; GAFFIN, Stuart; SLOSBERG, Ronald B.; SAVIO, Peter; DUNSTAN, Franky WATSON, Mark. Mitigating New York city's heat island. Integrating stakeholder perspectives and scientific evaluation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2009, vol. 9, n° 90, pp. 1297-1312.

Universidad Nacional de Córdoba (UNC). *Programa Estadístico InfoStat* [en línea]. 2008. [Consultado 2 junio 2015]. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>.



VALORACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD URBANA Y EL HABITAR EN LA VIVIENDA PÚBLICA EN CUENCA, ECUADOR.

AN ASSESSMENT OF URBAN SUSTAINABILITY AND LIVING EXPERIENCE IN PUBLIC HOUSING IN CUENCA, ECUADOR.

MARÍA AUGUSTA HERMIDA PALACIOS

Universidad de Cuenca. Departamento de Espacio y Población.
Grupo de Investigación LlactaLAB-Ciudades Sustentables.
Facultad de Arquitectura. Cuenca, Ecuador
augusta.hermida@ucuenca.edu.ec

NATASHA CABRERA JARA

Universidad de Cuenca. Departamento de Espacio y Población.
Grupo de Investigación LlactaLAB-Ciudades Sustentables.
Facultad de Arquitectura. Cuenca, Ecuador
natasha.cabrera@ucuenca.edu.ec

PABLO OSORIO GUERRERO

Universidad de Cuenca. Departamento de Espacio y Población.
Grupo de Investigación LlactaLAB-Ciudades Sustentables.
Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas.
Cuenca, Ecuador
pablo.osorio@ucuenca.edu.ec

SEBASTIÁN VANEGAS BRAVO

Universidad de Cuenca. Departamento de Espacio y Población.
Grupo de Investigación LlactaLAB-Ciudades Sustentables.
Cuenca, Ecuador
sebas.vanegasbravo@gmail.com

RESUMEN

Este artículo aporta al debate sobre políticas públicas de vivienda en Ecuador mediante una evaluación de la sustentabilidad urbana y del habitar de los proyectos de vivienda pública en Cuenca (Ecuador). Para tal labor, se identificaron los proyectos construidos desde 1970 hasta 2014 y se eligieron tres que corresponden a tejidos urbanos diferentes, se encuentran en distintas zonas de la ciudad y son promovidos también por disímiles entidades públicas. Para la valoración de la sustentabilidad se utilizaron modelos de evaluación que permitieron constatar que los proyectos tienen una calificación deficiente y que aquellos que se ubican en el límite urbano presentan una valoración aún menor. Con el propósito de evaluar el habitar, se llevaron a cabo encuestas cuyo fin consistió en identificar diferencias en las formas de habitar el entorno inmediato y la ciudad. Se advirtió entonces que los conjuntos desvinculados de las centralidades urbanas generan una serie de efectos inadecuados para la vida en sociedad. Estos resultados obligan a repensar las políticas públicas de vivienda, con miras a superar su empleo como herramienta clientelar -cuyo único objetivo es la compensación del déficit habitacional en términos cuantitativos-, para convertirlas en herramientas de planificación urbana capaces de construir ciudades sustentables.

Palabras clave

vivienda pública, políticas de vivienda, planificación urbana, evaluación de sustentabilidad urbana

ABSTRACT

This article contributes to the debate on public housing policies in Ecuador through an evaluation of urban sustainability and living experience in public housing projects in Cuenca (Ecuador). To this end, the projects built from 1970 to 2014 were identified and three were chosen that correspond to different urban fabrics and are located in various areas of the city and promoted by dissimilar public entities. To evaluate sustainability, assessment models were used to demonstrate that the three projects are poorly rated and that those located on the city limits are rated even lower. In order to assess living experience, surveys were conducted to identify differences in the ways of inhabiting the immediate surroundings and the city. The results indicate that projects disconnected from urban centers generate a series of unsatisfactory effects for life in society. In light of the results, public housing policies must be rethought with a view to overcoming their role as clientelism tools whose only purpose is to compensate the housing deficit in quantitative terms, in order to transform them into planning tools capable of building sustainable cities.

Keywords

public housing, housing policies, urban planning, urban sustainability assessment.

Tabla 1. Proyectos de vivienda pública en Cuenca, 1970-2014. Fuente: Elaboración de los autores.

Promotores		
JNV – MIDUVI	EMUVI-EP	IESS
01. Ciudadela Católica, 1973	13. Los Cerezos, 2004	24. Multifamiliares del IESS, 1979
02. Totoracocha, 1974	14. Los Alisos, 2005	25. Vista al Río, 2014 (BIESS-EMUVI-EP)
03. Corazón de Jesús, 1976	15. Los Nogales, 2005	
04. Paraíso, 1982	16. Huizhil, 2009	
05. Retamas, 1984	17. Jardines del Valle, 2010	
06. Tomebamba, 1984	18. Bemaní, 2011	
07. Huayna-Cápac, 1985	19. Portal del Río, 2012	
08. Bosque de Monay, 1986	20. Capulispamba, 2013	
09. Eucaliptos, 1987	21. La Campiña, 2013	
10. Trigales, 1987	22. Lagunas del Sol, 2013	
11. Patamarca, 1989	23. Miraflores, 2014	
12. Tarqui, 1994		

INTRODUCCIÓN

Este trabajo busca aportar en el debate sobre políticas habitacionales en el Ecuador mediante una evaluación de la sustentabilidad urbana y del habitar en proyectos de vivienda pública realizados en Cuenca. Al hablar de provisión pública de vivienda, nos referimos al papel que juegan en este ámbito las políticas públicas, es decir, "al conjunto de acciones estructuradas, estables, sistemáticas, que representan el modo en el que el gobierno realiza de manera permanente y estable las funciones públicas y atiende los problemas públicos" (Aguilar, 2010: 29).

Para Acosta (2009), estas políticas públicas de vivienda responden en ocasiones a la demanda de la sociedad civil, sin embargo, en el país esto se ha dado de manera esporádica y coyuntural. Según Carrión (2003), en 1972 en el Ecuador se crea la Junta Nacional de Vivienda (JNV) que centraliza la actuación del Estado respecto a la vivienda. En los años 90 se emprende un proceso de liberalización y modernización donde el Estado cambia su rol de ejecutor a supervisor. En 1992, se crea el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) que cambia el sistema de acceso a la vivienda, reduciendo la participación del Estado. A nivel local, en Cuenca, desde la década de los 70 la JNV formuló y ejecutó proyectos de vivienda de interés social. Posteriormente, desde su fundación en el año 2001, la Empresa Pública Municipal de Urbanización y Vivienda de Cuenca (EMUVI-EP) fue la encargada de facilitar el acceso a la vivienda y al suelo a la población vulnerable, de escasos recursos económicos o en situaciones de riesgo del cantón (I. Consejo Cantonal de Cuenca, 2001).

El presente trabajo comienza por registrar la vivienda pública construida en Cuenca desde los años 70, seleccionando tres casos emblemáticos que son evaluados desde una lógica de sostenibilidad urbana y del habitar. Para la sostenibilidad urbana se aplica una metodología de valoración que usa un índice sintético y para la evaluación del habitar, una encuesta que explora la percepción sobre la vivienda, las prácticas cotidianas, la movilidad y la ocupación de espacios colectivos. Los resultados demostraron que los conjuntos de vivienda pública presentan efectos inadecuados a nivel de vivienda, de barrio y a escala de ciudad. Es necesario, por tanto, repensar las políticas públicas de vivienda, en aras de superar su empleo como herramienta clientelar y de convertirlas en instrumentos de planificación urbana capaces de construir ciudades sustentables.

LA VIVIENDA PÚBLICA EN CUENCA

Los registros proporcionados por las instituciones públicas estatales y locales encargadas de programas de vivienda en Cuenca –JNV, posteriormente MIDUVI, la EMUVI-EP y el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS)- indican que entre 1970 y 2014 se construyeron 25 proyectos de vivienda (Tabla 1) que, según su fecha de construcción, se encontraban en la periferia urbana.(Figura 1).

Para el análisis y la evaluación propuestos, se eligieron tres proyectos, uno por cada entidad promotora en función de la cantidad de viviendas, la densidad neta alcanzada, el tejido urbano, la zona de la ciudad y la disponibilidad de información: Las Retamas, Los Cerezos y Vista al Río (Figura 1).

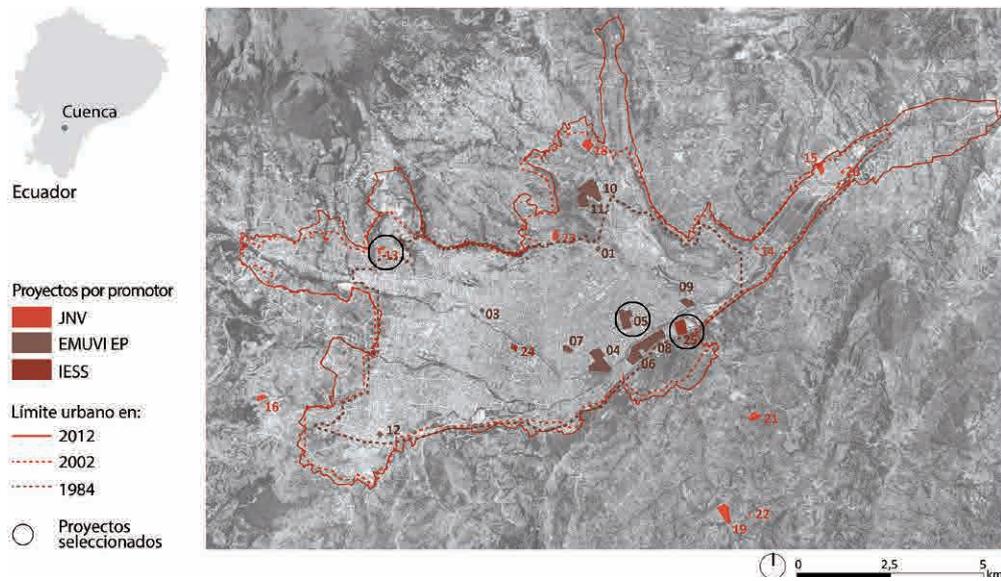


Figura 1. Proyectos de vivienda pública en Cuenca, 1970-2014. Fuente: Elaboración de los autores.

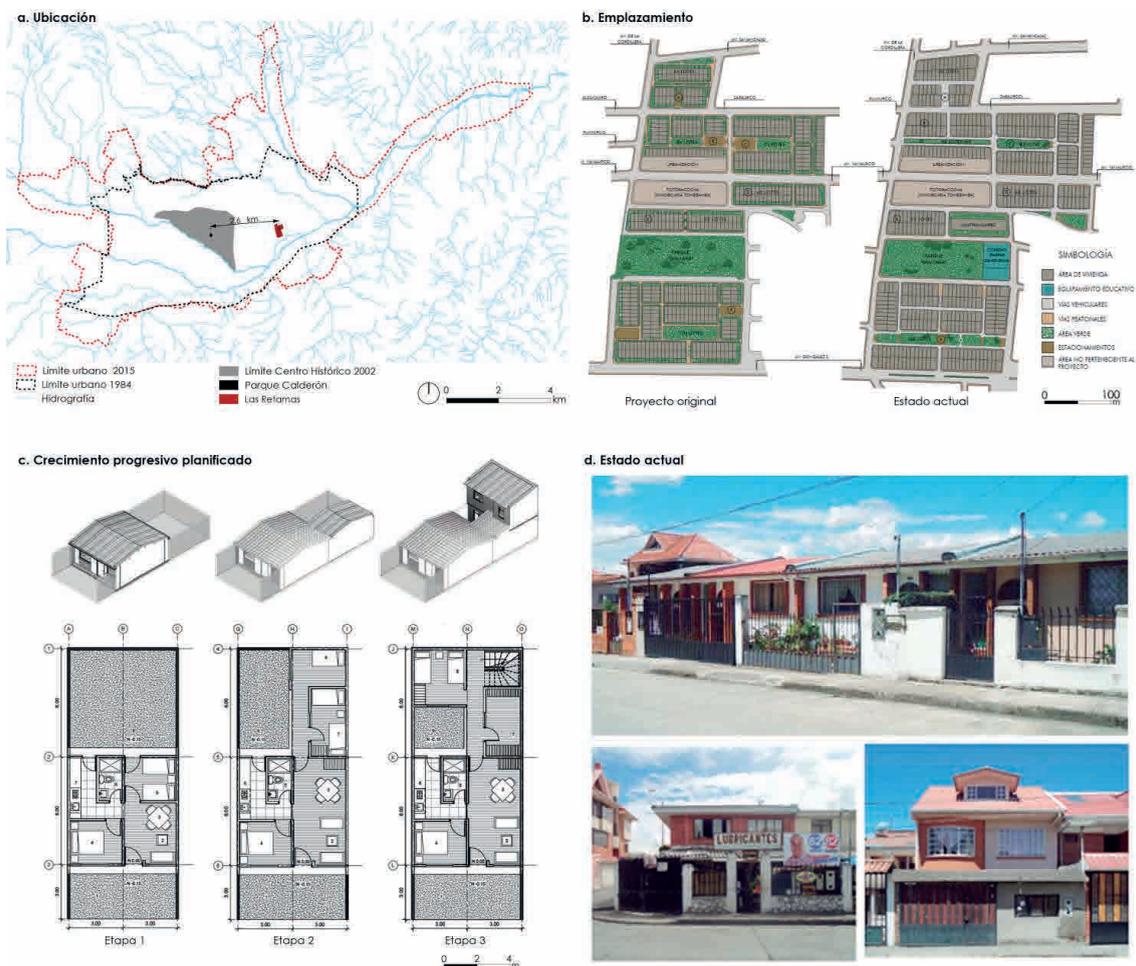


Figura 2. Las Retamas. Fuente: Elaboración de los autores.

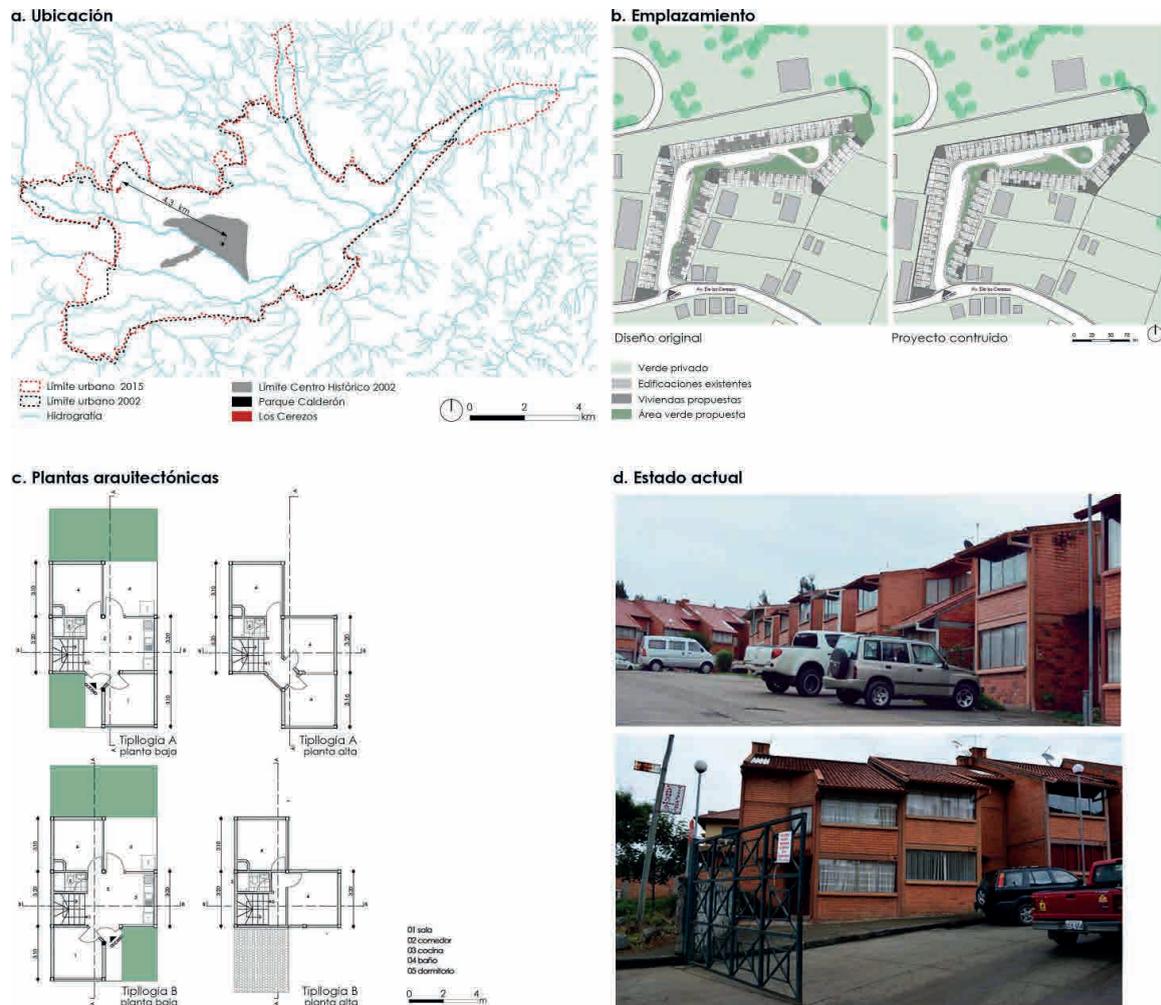


Figura 3. Los Cerezos. Fuente: Elaboración de los autores.

Las Retamas: Construido en 1984 por la JNV y dirigido a familias de bajos ingresos, en una zona para ese entonces de expansión, a 2,6km del parque central (Figura 2a). Se entregaron 428 viviendas unifamiliares y 3 bloques de vivienda multifamiliar con 75 departamentos, alcanzando una densidad neta de 427hab/ha, mientras la ciudad bordeaba una densidad bruta de 56,97hab/ha (Hermida et al., 2015a). El diseño original del proyecto priorizaba al ciudadano a pie y restringía el uso del automóvil, no obstante, en la construcción se adicionaron parqueaderos dando mayor importancia a la movilidad motorizada (Figura 2b). Cada unidad habitacional tenía 36m² en su planta original. Además se proyectaron dos etapas de crecimiento progresivo que podían ser ejecutadas mediante autoconstrucción, duplicando el área construida original (Figura 2c y 2d).

Los Cerezos: Construido en 2004 por la EMUVI-EP, estuvo orientado a familias de 4 a 5 miembros con un nivel de ingreso medio-bajo. Aunque el proyecto contaba con

infraestructura básica, se encontraba en la periferia a 4,3km del parque central de la ciudad, aislado de las redes de transporte, área verde y equipamiento (Figura 3a). Se entregaron 75 viviendas unifamiliares, de 3 tipologías (desde 40 hasta 120m²), alcanzando una densidad neta de 450hab/ha, mientras la ciudad presentaba una densidad bruta de 43,37hab/ha (*ídem*). El proyecto original se respetó en lo referente a las viviendas, sin embargo, parte del área verde comunal planificada junto a las viviendas se ha privatizado, así como el área verde de los retiros posteriores (Figura 3b). Los Cerezos se construyó como un complejo habitacional cerrado que no ha logrado integrarse ni a la trama ni a la dinámica urbana (Figura 3c).

Vista al Río: La EMUVI-EP y el Banco del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (BIESS) llevaron a cabo este proyecto de vivienda dirigido a familias de ingreso medio-alto. El proyecto se asienta a 4km del parque central de la ciudad, en una zona junto al río Tomebamba con una importante calidad visual e integrada al sistema de ciclovías

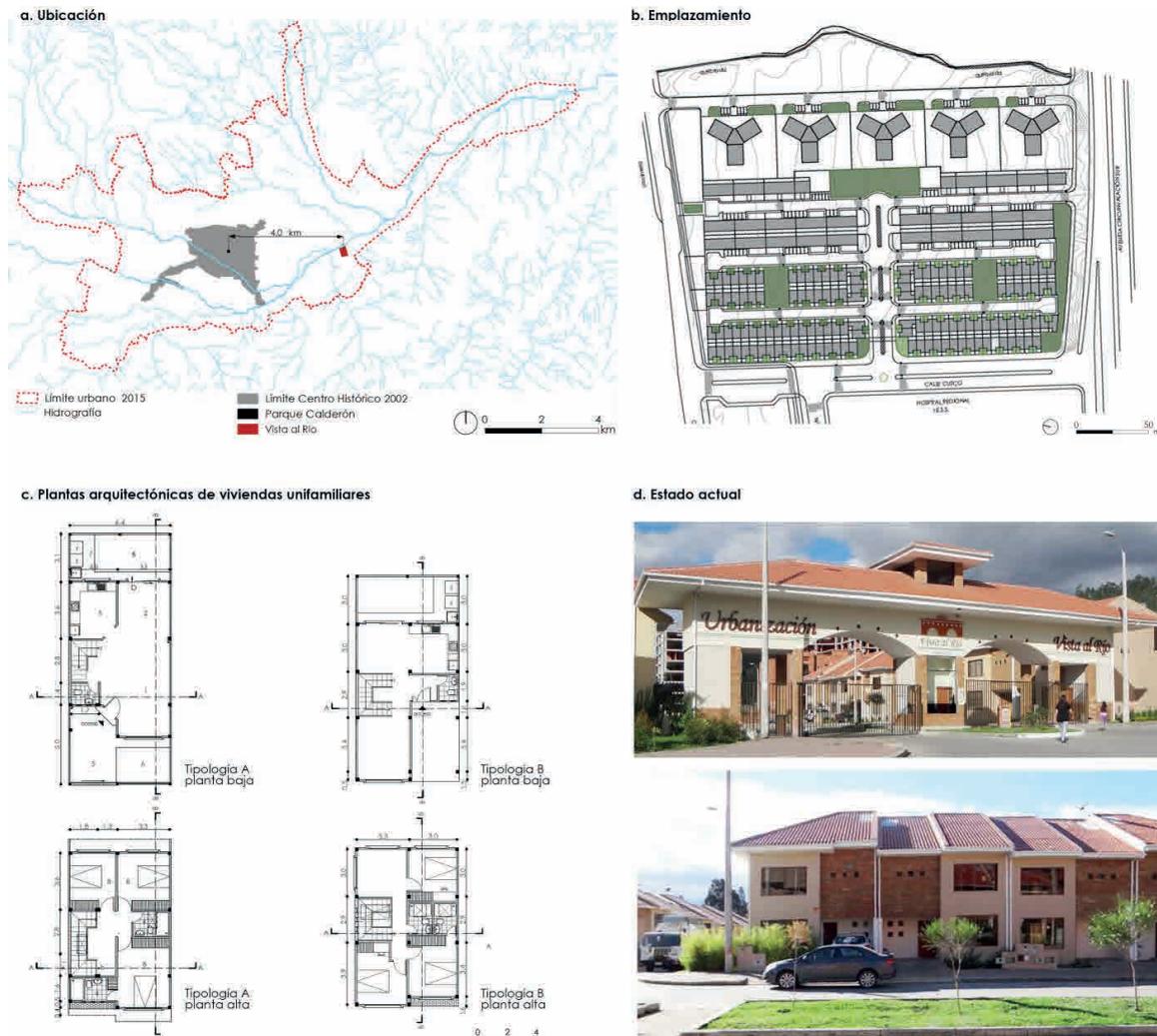


Figura 4. Vista al Río. Fuente: Elaboración de los autores.

planificado (Figura 4a). Existen 3 etapas: la primera de 136 viviendas unifamiliares que se concluyó en 2012; la segunda y la tercera de bloques multifamiliares con 141 departamentos que se concluyó en 2016. La densidad neta prevista es de 600hab/ha, mientras la densidad bruta de la ciudad es de 45,52hab/ha (*ídem*). El diseño original se integraba a la trama vial y proveía espacios verdes para el barrio (Figura 4b), sin embargo, en la actualidad las vías internas se han cerrado, restringiendo el uso de sus espacios públicos.

Cada unidad habitacional tenía entre 60 y 80 m², y no se había previsto crecimiento adicional, aunque los habitantes de la primera fase ya han realizado modificaciones, especialmente en la buhardilla (Figura 4c).

EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD URBANA

La metodología de valoración aplicada a los conjuntos seleccionados presenta las siguientes fases:

Definición conceptual y construcción del sistema de evaluación. Se planteó la construcción de un índice sintético que evalúe la sustentabilidad urbana en términos de densificación, pues se asume como modelo óptimo a la ciudad compacta (Jabareen, 2006). A partir de esta consideración, se propone un Índice de Densificación Urbana Sustentable, basado en 8 indicadores organizados en 4 subíndices (Tabla 2). Cada indicador valora un aspecto de la sustentabilidad urbana y sus resultados se normalizan a valores entre 0 y 1, permitiendo análisis comparativos y operaciones entre indicadores. Para el cálculo del índice se promedian los resultados obtenidos en cada subíndice (Cabrera *et al.*, 2015). Finalmente, la calificación se visualiza sobre el territorio usando una malla cuadrangular de 200m, que facilita la comparación entre diversos tejidos (Openshaw, 1981).

Tabla 2. Indicadores requeridos. Fuente: Elaboración de los autores.

Indicador	¿Qué mide?	Valor óptimo
SUBÍNDICE DE VIVIENDA Y DIVERSIDAD DE USOS		
<i>Densidad urbana de vivienda</i>	La densidad neta de vivienda por hectárea	>40viv/ha
<i>Complejidad urbana</i>	La cantidad y diversidad de usos terciarios	>4
SUBÍNDICE DE ACCESIBILIDAD PEATONAL		
<i>Reparto del viario peatonal</i>	El porcentaje de viario destinado al ciudadano a pie	>75%
<i>Proximidad a transporte alternativo</i>	La cobertura simultánea de transporte público, ciclovías y senderos peatonales	100%
SUBÍNDICE DE VERDE URBANO		
<i>Superficie verde por habitante</i>	Los metros cuadrados de área verde pública por cada habitante	>15m ² /hab
<i>Proximidad a áreas verdes</i>	La cobertura simultánea de áreas verdes a tres escalas: barrial, zonal y urbana	100%
SUBÍNDICE DE INTEGRACIÓN SOCIO-ESPACIAL		
<i>Porcentaje de viviendas con carencias</i>	El porcentaje de viviendas con carencias referidas a las condiciones de vida.	40%

Tabla 3. Información requerida por indicador. Fuente: Elaboración de los autores.

Indicador	Información requerida	Fuente
SUBÍNDICE DE VIVIENDA Y DIVERSIDAD DE USOS		
<i>Densidad urbana de vivienda</i>	Número de viviendas por manzana	Censo 2010
<i>Complejidad urbana</i>	Actividades terciarias por predio clasificadas por tipo de uso	Levantamiento
SUBÍNDICE DE ACCESIBILIDAD PEATONAL		
<i>Reparto del viario peatonal</i>	Superficie del viario destinada al ciudadano a pie	Catastro y levantamiento
<i>Proximidad a transporte alternativo</i>	Cercanía a pie (5 min) a diversas redes de transporte alternativo al automóvil	Catastro
SUBÍNDICE DE VERDE URBANO		
<i>Superficie verde por habitante</i>	Superficie pública verde	Catastro y levantamiento
<i>Proximidad a áreas verdes</i>	Cercanía a pie (5 min) a tres tipos de áreas verdes	Catastro y levantamiento
SUBÍNDICE DE INTEGRACIÓN SOCIO-ESPACIAL		
<i>Porcentaje de viviendas con carencias</i>	Datos sobre condiciones de vida por vivienda: acceso a servicios públicos, nivel de educación, calidad de vivienda y afiliación a servicios de salud.	Censo 2010
<i>Segregación espacial</i>	Datos sobre condiciones de vida por vivienda: acceso a servicios públicos, nivel de educación, calidad de vivienda y afiliación a servicios de salud.	Censo 2010

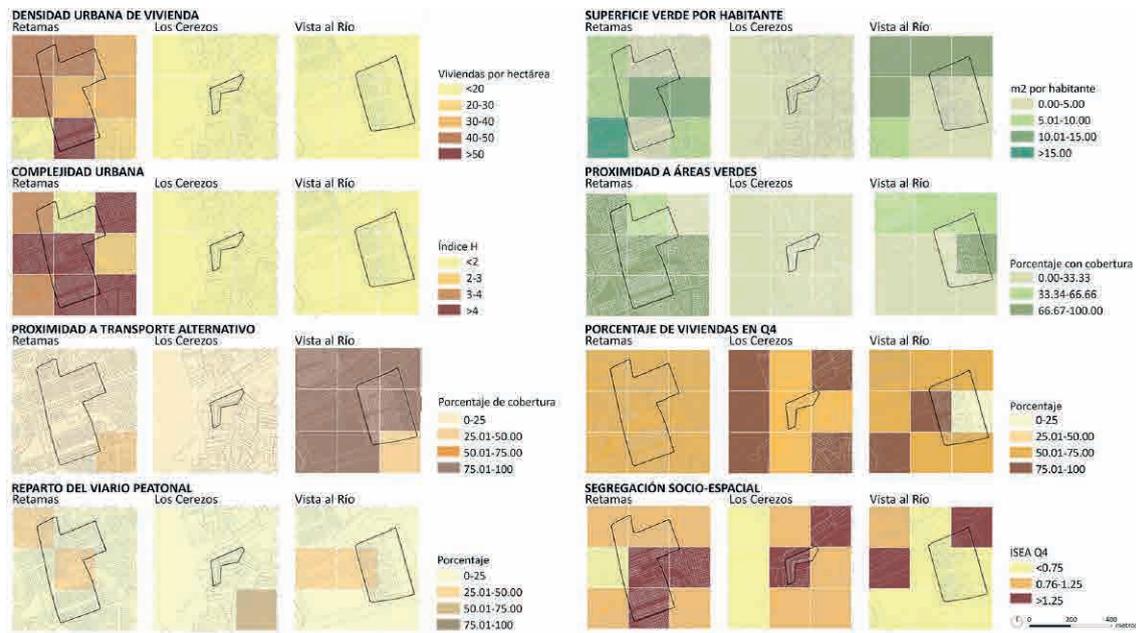


Figura 5. Mapas por indicador. Fuente: Elaboración de los autores.

Tabla 4. Resultados por indicador. Fuente: Elaboración de los autores.

Indicador	Valor óptimo	Porcentaje de celdas con valor óptimo		
		Las Retamas	Los Cerezos	Vista al Río
SUBÍNDICE DE VIVIENDA Y DIVERSIDAD DE USOS				
Densidad urbana de vivienda	>40viv/ha*	44%	0%	0%
Complejidad urbana	>4**	56%	0%	0%
SUBÍNDICE DE ACCESIBILIDAD PEATONAL				
Reparto del viario peatonal	>75%**	0%	0%	0%
Proximidad a transporte alternativo	100%+	0%	0%	89%
SUBÍNDICE DE VERDE URBANO				
Superficie verde por habitante	>15m ² /hab+	11%	0%	0%
Proximidad a áreas verdes	100%+	78%	0%	11%
SUBÍNDICE DE INTEGRACIÓN SOCIO-ESPACIAL				
Porcentaje de viviendas en Q4	25%+	0%	0%	11%
Segregación espacial	0,76-1,25+	56%	44%	11%

* Rango determinado en función de la proyección de población de Cuenca para el 2030, suponiendo que la mancha urbano actual se mantendrá (Hermida et al., 2015b).

** Rango obtenido con base en los estudio realizados por la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona (Rueda, 2008).

+ Rango determinado con base en los resultados del proyecto de investigación MODEN aplicado en Cuenca (Hermida et al., 2015b).

Recopilación de información. Se revisó la información disponible, tanto censal como catastral, y se levantaron los datos faltantes, que para este caso corresponden a usos y a superficie verde pública (Tabla 3). Se ingresaron los datos censales, catastrales y levantados en campo, a la base alfanumérica generada para su posterior vinculación a las entidades gráficas en SIG.

Evaluación de los conjuntos habitacionales. Con la información en SIG, se aplicó el modelo de evaluación automatizado que toma como datos de entrada la malla de análisis, las capas de datos geográficos y las tablas alfanuméricas requeridas. Con estos insumos se aplicaron los geoprocesos requeridos y se calcularon valores por cada celda de la malla, obteniendo un mapa por indicador (Figura 5).

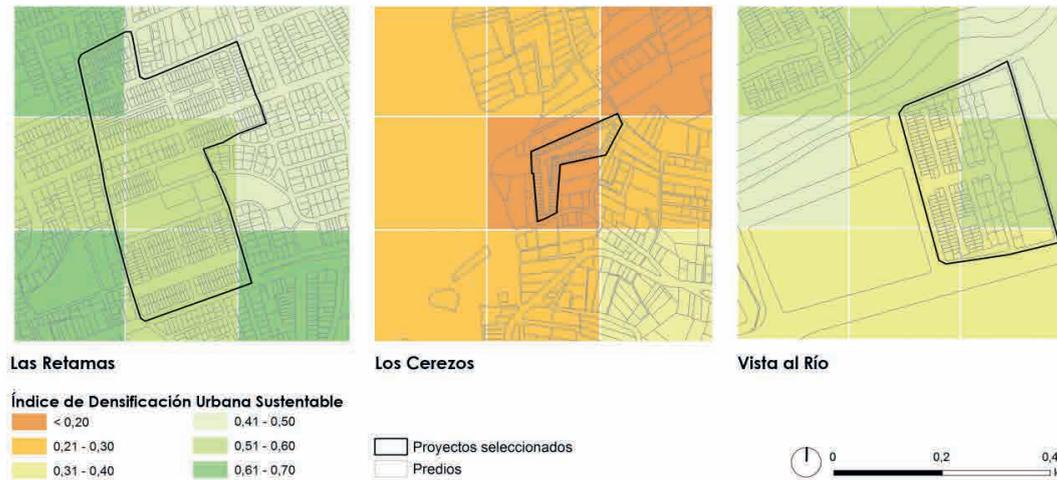


Figura 6. Valoración del Índice de Densificación Urbana Sustentable. Fuente: Elaboración de los autores.

Los resultados obtenidos tras la aplicación de la metodología propuesta (Tabla 4), muestran en los 8 indicadores un elevado porcentaje de celdas por debajo del valor óptimo determinado, en especial en Los Cerezos y Vista al Río.

Las Retamas presenta mejores valores en la mitad de los indicadores, presumiblemente por su ubicación en una zona ya consolidada, mientras los otros dos proyectos se encuentran en zonas en proceso de consolidación con menor diversidad de usos, densidad y proximidad a redes de transporte alternativo. De manera general, se observa que los tejidos menos consolidados presentan calificaciones más bajas y que la presencia de márgenes de protección bien tratados contribuye a una mejor calificación en indicadores como Proximidad a Transporte Alternativo, Superficie Verde por Habitante y Proximidad a Áreas Verdes. Los resultados obtenidos en Reparto del Viario Peatonal indican que la ciudad de Cuenca presenta un fuerte déficit de espacio público destinado al ciudadano a pie.

La valoración del Índice de Densificación Urbana Sustentable muestra que ninguna de las celdas de los 3 proyectos supera la calificación de 0,8. Sin embargo, sí existen diferencias significativas entre los tres tejidos analizados (Figura 6). Las Retamas posee los valores más altos entre 0,41 y 0,8, aunque por debajo del óptimo. La diversidad de usos y usuarios así como la mayor densidad de viviendas y la existencia de verde público, ayudan en la calificación de esta zona caracterizada por su vocación popular. Los Cerezos presenta la calificación más baja, pues ninguna de sus celdas supera 0,4. Esta valoración es preocupante y demanda un mayor estudio y planteamiento de medidas para mejorar este tipo de tejidos, bastante frecuente en el borde urbano de Cuenca. Vista al Río presenta una calificación intermedia, aunque los resultados siguen siendo bajos, con valores entre 0,21 y 0,60. La

implantación de este proyecto junto al río, en una zona plana que se integra a distintas redes urbanas, aporta en la calificación. No obstante, esta misma ubicación encarece el costo del suelo dificultando la posibilidad de dirigir el proyecto a familias de menores ingresos.

Tras esta valoración se puede realizar dos afirmaciones, la primera se refiere a la deficiente calificación de los proyectos, hecho que resalta la necesidad de repensar la manera en que la vivienda pública se inserta al tejido urbano y de evaluar las políticas públicas de dotación de vivienda, que, como bien señalan Barba y Cohen (2011), no ocupan un lugar prioritario en las agendas oficiales de los países latinoamericanos. En segundo lugar y en relación al efecto borde, se constata que a medida que el tejido se encuentra en los límites urbanos, la calificación disminuye, por lo que resulta preocupante que se sigan construyendo proyectos de vivienda en dichos límites e inclusive en la zona rural.

EVALUACIÓN DEL HABITAR EN LA VIVIENDA PÚBLICA

Emilio Pradilla explica que quienes producen la vivienda afectan la forma en la que sus habitantes residen en ella y se relacionan con el resto de la ciudad (1983:17). La vivienda que se ofrece dentro de un conjunto habitacional obliga a sus habitantes a adaptar su forma de vida a las características de tamaño, diseño, ubicación y facilidades predeterminadas por el proyecto inmobiliario.

Para evaluar el consumo de la vivienda pública se ha utilizado el concepto de "habitar" como lo conciben Emilio Duhau y Ángela Giglia (2008). Según estos autores, el habitar define un conjunto amplio de fenómenos vinculados a la experiencia que tienen los habitantes de una vivienda y una ciudad, y a la relación que tienen las personas con los lugares en los que

Tabla 5. Porcentaje de respuestas sobre los significados de la vivienda para cada conjunto de vivienda. Fuente: Elaboración de los autores.

	Un lugar de convivencia familiar	Un patrimonio	Una inversión	Un lugar donde dormir	Total
Las Retamas	49%	27%	6%	18%	100%
Los Cerezos	31%	34%	14%	20%	100%
Vista al Río	36%	36%	21%	7%	100%

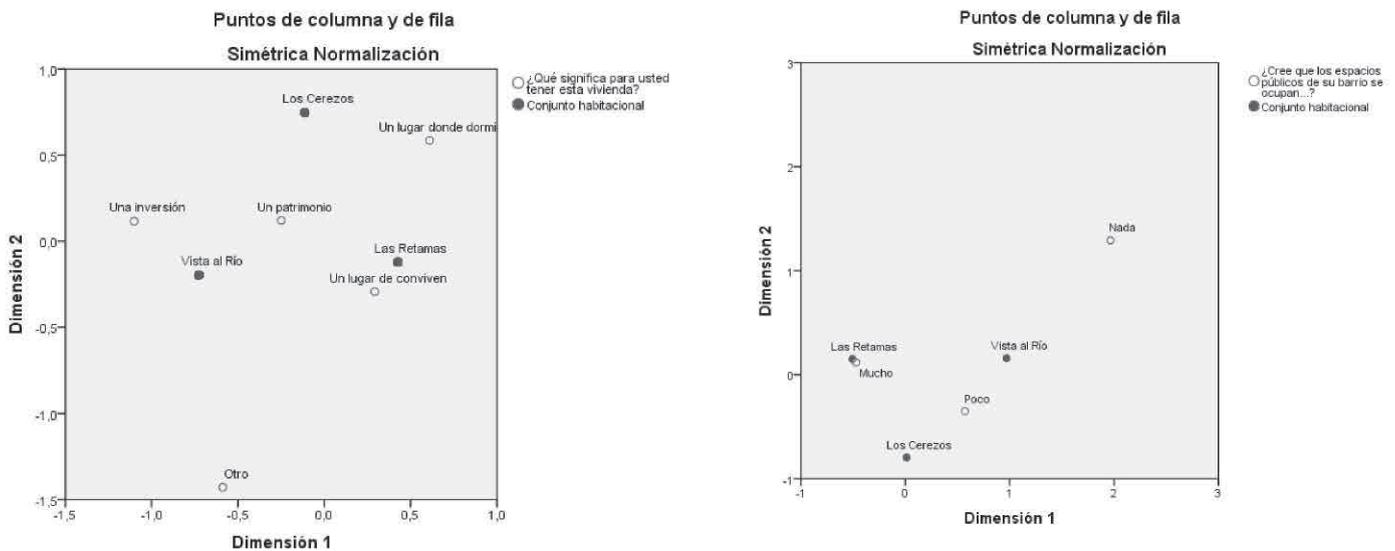


Figura 7. Análisis de correspondencias: Relación entre conjuntos de vivienda y significado de la vivienda. Fuente: Elaboración de los autores.

Figura 8: Análisis de conglomerados: Relación entre conjuntos de vivienda y uso de sus espacios públicos. Fuente: Elaboración de los autores.

desarrollan sus experiencias vitales. Asimismo, diferencian esta noción de la de “residir”, la cual alude al vínculo de la persona con el objeto vivienda, es decir, con las funciones propias de la reproducción social, obviando la relación con el entorno o la ciudad.

Con el objetivo de identificar diferencias en las formas de habitar de los habitantes de los conjuntos de vivienda seleccionados, se realizó una encuesta para explorar la percepción sobre la vivienda, las prácticas cotidianas, la movilidad y la ocupación de espacios colectivos. El tamaño de la muestra fue de 240 encuestas, calculada para un nivel de confianza de 95%, y un error máximo de 0,05 (5%), la selección fue aleatoria estratificada, tomando en cuenta la cantidad de viviendas de cada uno de los conjuntos. Las preguntas utilizadas fueron de selección múltiple y fueron validadas por medio de una prueba piloto aplicada a 20 individuos. Los datos se analizaron en el programa SPSS Statistics 20, el que por medio del análisis de correspondencias expresó gráficamente la relación entre variables categóricas.

SIGNIFICADO DE LA VIVIENDA

La pregunta “¿qué significa para usted tener esta vivienda?” generó una única relación evidente en el gráfico: entre el conjunto de *Las Retamas* y la opción de respuesta “un lugar de convivencia familiar” (Figura 7 y Tabla 5).

PERCEPCIÓN DE OCUPACIÓN DE LOS ESPACIOS PÚBLICOS

En cuanto a la pregunta “¿Cree que los espacios públicos de su barrio se ocupan mucho, poco o nada?”, el conjunto *Las Retamas* muestra una clara relación con la percepción de alta ocupación de los espacios públicos. (Figura 8 y Tabla 6). El diseño de los espacios de ocio y recreación difieren entre los conjuntos estudiados. El conjunto de *Las Retamas* presenta espacios para la recreación que son usados por vecinos y habitantes de otros lugares de la ciudad. En contraste, en *Los Cerezos* y *Vista al Río* el espacio más próximo a las viviendas no es de uso público, pues se trata de condominios cerrados. Las actividades de recreación de los habitantes de *Los Cerezos*

Tabla 6. Percepción de ocupación de espacios públicos en cada conjunto. Fuente: Elaboración de los autores.

	Mucho	Poco	Nada	Total
L a s Retamas	76%	23%	1%	100%
L o s Cerezos	54%	46%	0%	100%
Vista al Río	34%	53%	13%	100%

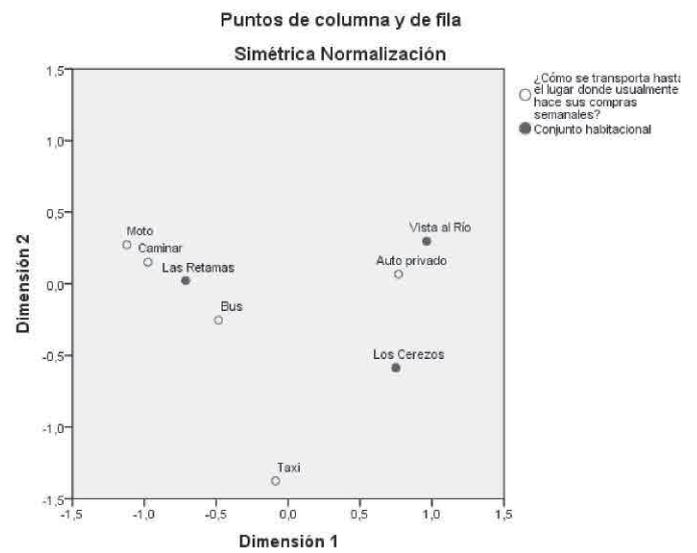
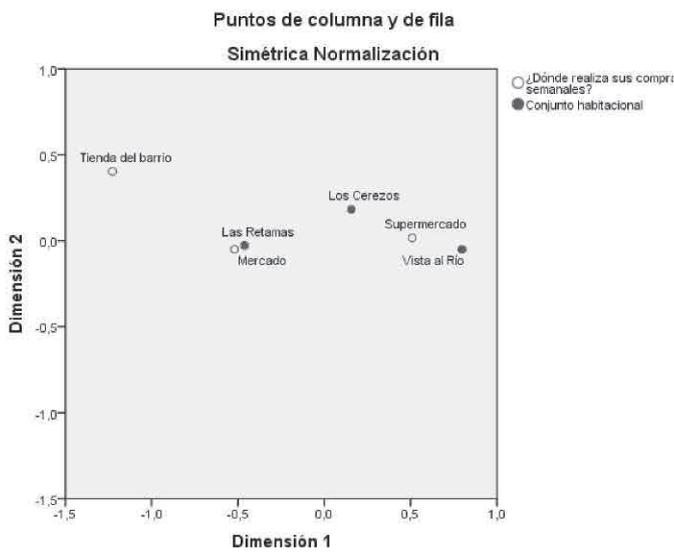


Figura 9. Relación entre conjuntos de vivienda y lugar de compras semanales. Fuente: Elaboración de los autores.

Figura 10. Relación entre conjuntos de vivienda y transporte de consumo. Fuente: Elaboración de los autores.

	Tienda del barrio	Mercado	Total
L a s Retamas	7%	53%	40%
L o s Cerezos	3%	40%	57%
Vista al Río	2%	26%	73%

Tabla 7. Lugar de compra semanal por conjunto de vivienda. Fuente: Elaboración de los autores.

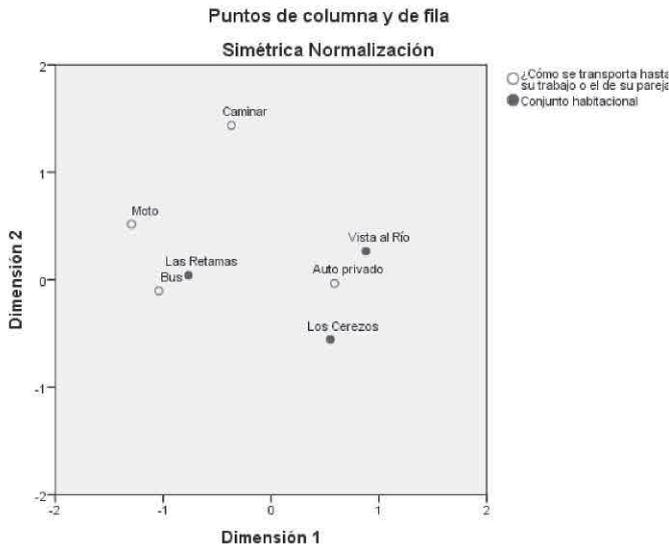


Figura 11. Relación entre conjuntos de vivienda y transporte de trabajo.
 Fuente: Elaboración de los autores.

y *Vista al Río* son realizadas fuera de su conjunto, en parques urbanos o centros comerciales.

Las compras semanales.

El conjunto de *Las Retamas*, vinculado con la trama urbana, sin un muro que divida el conjunto del resto de la ciudad, utiliza principalmente el mercado para sus compras semanales, mientras que *Los Cerezos* y *Vista al Río* están más relacionados con la compra en supermercados (Figura 9, Figura 10 y Tabla 8). La relación espacial del conjunto habitacional con la ciudad parece ser determinante para las prácticas de consumo de sus habitantes.

FORMAS DE MOVILIDAD.

En las Figuras 11, 12 y 13 y en la Tabla 8, se observan las relaciones entre los conjuntos de vivienda y el medio de transporte utilizado para sus desplazamientos por razones de trabajo, educación y recreación.

El transporte preferido por la población del conjunto de *Las Retamas* es el bus; al estar atravesado por vías con alto nivel de integración, gran cantidad de líneas de transporte urbano cruzan sus calles. La población de los conjuntos de *Vista al Río* y, en menor medida, *Los Cerezos* prefieren el auto privado para sus desplazamientos. Su condición de conjuntos cerrados reduce las opciones de desplazamiento en transporte público. En cambio, en *Las Retamas*, el espacio público circundante a la vivienda organiza la experiencia urbana del habitante al ofrecerle áreas verdes integradas a la ciudad, líneas de transporte público que atraviesan el conjunto de viviendas, y una extensa oferta de bienes y servicios generados por los propios vecinos.

Tabla 8. Tipo de transporte por actividad, por conjunto de vivienda.
 Fuente: Elaboración de los autores.

	Transporte por trabajo				
	Caminar	Bus	Auto	Moto	Total
Las Retamas	4,9%	59,8%	34,1%	1,2%	100%
Los Cerezos	0,0%	18,7%	81,3%	0,0%	100%
Vista al Río	4,0%	2,0%	94,0%	0,0%	100%
	Transporte por estudio				
	Caminar	Bus	Auto	Moto	Total
Las Retamas	17,1%	60,5%	22,4%	0,0%	100%
Los Cerezos	3,4%	20,7%	75,8%	0,0%	100%
Vista al Río	6,0%	28,0%	62,0%	4,0%	100%
	Transporte por consumo				
	Caminar	Bus	Auto	Moto	Total
Las Retamas	53,3%	19,4%	26,3%	0,8%	100%
Los Cerezos	5,7%	11,4%	82,8%	0,0%	100%
Vista al Río	31,4%	14,5%	53,2%	0,4%	100%
	Transporte por ocio				
	Caminar	Bus	Auto	Moto	Total
Las Retamas	39,5%	16,7%	43,9%	0,0%	100%
Los Cerezos	28,1%	11,0%	60,3%	0,5%	100%
Vista al Río	14,0%	3,5%	80,7%	1,7%	100%

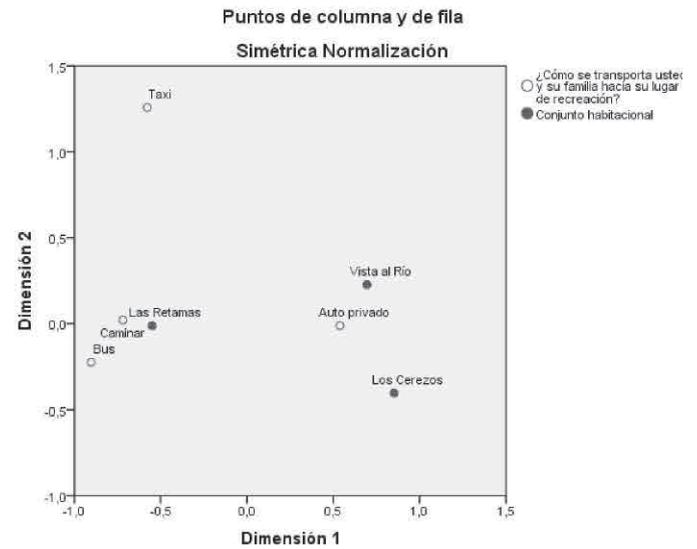
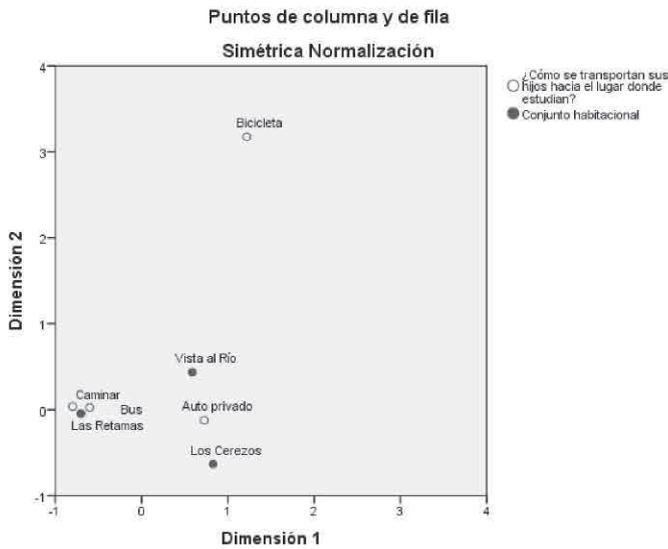


Figura 12. Relación entre conjuntos de vivienda y transporte de estudio. Fuente: Elaboración de los autores.

Figura 13. Relación entre conjuntos de vivienda y transporte de recreación. Fuente: Elaboración de los autores.

Luego de contrastar la producción de la vivienda pública en Cuenca con la forma en la que sus habitantes se relacionan con la ciudad, se puede ratificar las ideas de Emilio Pradilla (1983) en el sentido de que el diseño y ubicación de los conjuntos de vivienda inciden en la forma en la que los residentes se relacionan con el entorno y el resto de la ciudad. Conjuntos mejor ubicados en relación a la estructura espacial de la ciudad, permiten que sus residentes se vinculen con la estructura principal de actividades. Los conjuntos de vivienda cerrados, desvinculados de la trama urbana, generan una serie de efectos nocivos para la vida en sociedad: inciden en la elección de modalidad de transporte priorizando el uso del auto privado; desincentivan la implantación de comercios al no estar vinculados con el resto de la ciudad, reforzando aún más la necesidad de sus habitantes de “salir” a comprar; el espacio público de estos conjuntos de vivienda deja de funcionar como un lugar de encuentro, por lo que sus calles quedan reducidas a lugares de tránsito.

REFLEXIONES.

El estudio de los procesos vinculados a la vivienda pública urbana da cuenta de un fenómeno complejo con múltiples conexiones. Aspectos territoriales, sociales y económicos se encuentran interrelacionados con las dinámicas de su producción y consumo. Se han identificado tres ciclos sistémicos en el proceso de provisión y consumo de este tipo de vivienda que se refuerzan mutuamente (Figura 14).

Ciclo 1: La escala de vivienda.

El primer ciclo representa la búsqueda de equilibrio entre la necesidad de vivienda y su provisión. A medida que se expresa la carencia de vivienda en la ciudad, se generan estrategias para satisfacer esta demanda. Una parte de esta demanda se resuelve a través del mercado, otra, con intervención del Estado y una última, por medio del esfuerzo particular a través de procesos de autoconstrucción. Ninguna de estas estrategias es pura sino que se relacionan constantemente.

La investigación observó que la producción de vivienda pública no ha presentado ninguna innovación relevante desde los años 70. Los sistemas constructivos utilizados hoy son iguales a los de décadas atrás y las determinantes espaciales y de uso incluso han ido perdiendo la flexibilidad que se podía encontrar en aquellos proyectos construidos en los años 80, donde se preveía el crecimiento progresivo de la vivienda.

Ciclo 2: La escala barrial.

Al primer ciclo se integra un segundo a escala barrial. Aquellos conjuntos habitacionales realizados hasta los 80, eran abiertos y estaban en total conexión con el espacio urbano circundante. En contraste, los proyectos que se han realizado en la última década presentan la característica de condominio cerrado.

Los hogares en viviendas alejadas y en condominios cerrados cambian su forma de habitar la ciudad: sus desplazamientos tienden a ser en auto privado debido a la limitada oferta de transporte público y condiciones para la movilidad no motorizada. Las prácticas de consumo de bienes y servicios también se modifican debido a la escasa oferta de cercanía, lo que impulsa a los hogares a realizar sus compras en lugares de consumo masivo como los centros comerciales. De esta manera, la ciudad comienza a ser considerada como un lugar para *atravesar*, impidiendo que los espacios públicos sean lugares de intercambio y fortalecimiento de relaciones sociales.

Ciclo 3: La escala de ciudad.

El tercer ciclo hace referencia a la demanda de recursos a la ciudad, en términos de territorio y servicios, producto de la dispersión territorial de la vivienda hacia zonas periféricas. La percepción de que los precios de la vivienda serán menores porque el terreno es de bajo costo resulta una ilusión cuando se toma en cuenta la cantidad de recursos que invertimos como sociedad para urbanizar las zonas periféricas de la ciudad.

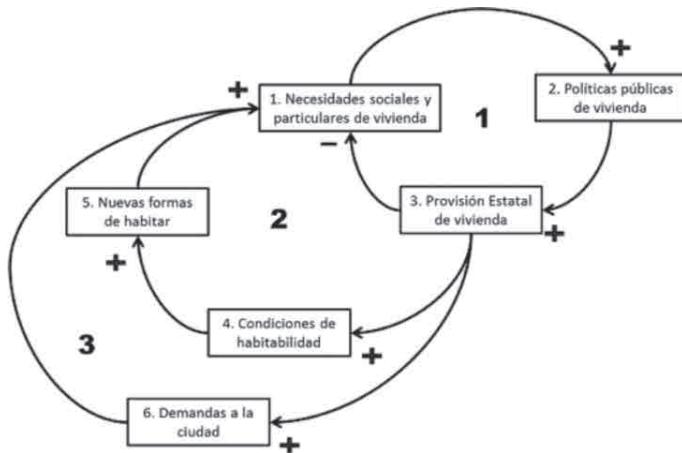


Figura 14. Diagrama de sistemas de la provisión de vivienda estatal en Cuenca. Elaboración de los autores.

El Índice de Densificación Urbana Sustentable analiza los proyectos de vivienda a estas tres escalas, y pone de manifiesto las fuertes deficiencias que la vivienda pública presenta en términos de sustentabilidad. Esta valoración evidencia la importancia de la ubicación de dichos proyectos, generalmente emplazados en las periferias, hecho que remarca la necesidad de plantear estrategias a escala de ciudad. Rojas y Fretes (2009) señalan que es justamente la escala el factor clave en este tipo de proyectos. En esta línea, Nieto (2010) sostiene también que es a través de las políticas públicas que deben afrontarse los programas de vivienda desde una perspectiva urbana.

En Ecuador han surgido intentos aislados de abordar los proyectos de vivienda bajo el análisis y la comprensión de la ciudad en que se insertan, particularmente en Quito y Guayaquil. Sin embargo, se han centrado en mejorar las condiciones de la vivienda en barrios marginales (Dávila y Cuenin, 2009), cuando el principal problema se centra en la falta de políticas que aborden la dotación de vivienda desde la escala de ciudad y barrio, más allá de la unidad habitacional. Evidentemente, las políticas de vivienda pública desarrolladas hasta hoy tienen un enfoque tecnocrático que excluye la participación ciudadana y el planteamiento mismo del problema desde sus consumidores.

Las políticas de vivienda deberían actuar a largo plazo, para lo cual deben existir métodos de evaluación continua, al margen de la práctica ideológica gubernamental y sus ofertas de turno. Una política sin evaluación integral termina generando mayor inequidad social a pesar de sus intenciones.

Agradecimientos.

Agradecemos a la Universidad de Cuenca por financiar el proyecto del cual forma parte este artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, María Elena. *Políticas de Vivienda en Ecuador desde la década de los setenta, análisis, balance y aprendizajes*. Quito: FLACSO, 2009.

AGUILAR, Luis. *Política Pública*. México-DF: Siglo XXI, 2010.

CARRIÓN, Fernando. El problema de la vivienda en el Ecuador. *Diario Hoy*, 2003, noviembre. [Fecha de consulta Consultado: 10 enero 2016] Disponible en: <http://www.flasco.org.ec/docs/proviviueec.pdf>.

BARBA, Carlos y COHEN, Néstor (coord.). *Perspectivas críticas sobre la Cohesión Social. Desigualdad y tentativas fallidas de integración social en América Latina*. Buenos Aires: CLACSO, 2011.

CABRERA, Natasha; ORELLANA, Daniel; HERMIDA, M. Augusta y OSORIO, Pablo. Evaluando la sustentabilidad de la densificación urbana. Indicadores para el caso de Cuenca (Ecuador). *Bitácora Urbano Territorial*, 2015, vol. 25, n° 2, pp. 21-34.

DÁVILA, Heisda y CUENIN, Fernando. El Programa Integral de Mejoramiento de Barrios Quito. En: ROJAS, Eduardo (ed.) *Construir ciudades. Mejoramiento de barrios y calidad de vida urbana*. Washington: BID, 2009, pp. 241-252.

DUHAU, Emilio y GIGLIA, Ángela. *Las reglas del desorden: habitar la metrópoli*. México Distrito Federal: Editorial Siglo XXI, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, 2008.

HERMIDA, M. Augusta; HERMIDA, Carla; CABRERA, Natasha y CALLE, Christian. La densidad urbana como variable de análisis de la ciudad. El caso de Cuenca-Ecuador. *Revista EURE*, 2015a, vol. 41, n° 124, pp. 25-44.

HERMIDA, M. Augusta; ORELLANA, Daniel; CABRERA, Natasha; OSORIO, Pablo y CALLE, Christian. *La ciudad es esto. Medición y representación espacial para ciudades compactas y sustentables*. Cuenca: Universidad de Cuenca, 2015b.

I. CONSEJO CANTONAL DE CUENCA. *Ordenanza Municipal #153*. Cuenca: I. Municipalidad de Cuenca, 2001.

JABAREEN, Yosef. Sustainable Urban Forms: Their Typologies, Models and Concepts. *Journal of Planning Education and Research*, 2006, n° 26, pp. 38-52.

NIETO, María. *El programa Quiero mi Barrio, Chile*. Santiago: Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile, 2010.

OPENSHAW, Stan. *The modifiable areal unit problem*. Kent: Geo Books, 1981.

PRADILLA, Emilio. *El problema de la vivienda en América Latina*. 1ª ed. Quito: Centro de Investigaciones CIUDAD, 1983.

ROJAS, Eduardo y FRETES, Vicente. Construir ciudadanía para una mejor calidad de vida. En: ROJAS, Eduardo (ed.) *Construir ciudades. Mejoramiento de barrios y calidad de vida urbana*. Washington: BID, 2009.

RUEDA, Salvador (ed.). *Plan Espacial de Indicadores de Sustentabilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla*. Barcelona: Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2008.



MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS. PARA ALÉM DA ENERGIA OPERACIONAL.

BUILDING INSULATION MATERIALS: BEYOND OPERATIONAL ENERGY.

CARLOS OLIVEIRA AUGUSTO

Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento
de Engenharia Civil, Laboratório de Física e Tecnologia das
Construções, Guimarães, Portugal.
carlosoliveira.7@gmail.com

LUÍS BRAGANÇA

Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de
Engenharia Civil, Guimarães, Portugal.
braganca@civil.uminho.pt

MANUELA ALMEIDA

Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de
Engenharia Civil, Guimarães, Portugal.
malmeida@civil.uminho.pt

RESUMEN

A utilização de materiais de isolamento térmico para a obtenção de edifícios energeticamente eficientes visa, na generalidade dos casos, a satisfação das respetivas necessidades de aquecimento e arrefecimento da fase operacional. O objetivo principal deste trabalho é o de - mediante a utilização de metodologia exploratória, nomeadamente revisão bibliográfica - identificar materiais de isolamento mais sustentáveis e, concomitantemente, expor o efeito paradoxal de outros com elevado Potencial de Aquecimento Global (GWP), destacando o papel da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), do Ecodesign e da Declaração Ambiental de Produto (DAP) para a conceção, comparação e seleção de materiais. Como principal conclusão, salienta-se a ausência generalizada de informação ambiental por parte dos produtores o que, a par de preços de aquisição que não internalizam Custos de Ciclo de Vida (LCC), tem conduzido à utilização de materiais com elevada pegada de carbono e ao "paradoxo do isolamento".

Palabras clave

avaliação do ciclo de vida, avaliação da sustentabilidade, energia operacional, materiais de isolamento, paradoxo do isolamento.

ABSTRACT

The use of thermal insulation materials to achieve energy efficient buildings is intended in most cases to meet the heating and cooling needs of the operational phase. By means of an exploratory methodology, namely literature review, this paper aims to identify more sustainable insulation materials and concomitantly present the paradoxical effect of other insulation materials with high Global Warming Potential (GWP). The role of Life Cycle Assessment (LCA), Ecodesign and Environmental Product Declaration (EPD) tools is highlighted for the design, comparison and selection of materials. As a main conclusion, the general lack of environmental information from producers, together with prices that do not internalize Life Cycle Costs (LCC), have led to the use of insulation materials with a high carbon footprint and the "insulation paradox".

Keywords

life cycle assessment, sustainability assessment, operational energy, insulation materials, insulation paradox.

Tabela 1. Classificação e características técnicas referentes a alguns materiais correntes de isolamento térmico. Fonte: Adaptado de Pfunstein, 2008.

Material de isolamento	Classificação	Densidade (kg/m ³)	Condutividade térmica [W/(mK)]
Lã de vidro	Inorgânico-sintético	13	0.036
Lã de rocha	Inorgânico-sintético	20-200	0.035-0.040
Argila expandida (4/16)	Inorgânico-natural	400	0.800-1.000
Poliestireno expandido (EPS)	Orgânico-sintético	30	0.035
Poliestireno extrudido (XPS)	Orgânico-sintético	37	0.032
Espuma rígida de poliuretano (PUR)	Orgânico-sintético	40	0.030
Cortiça (placa rígida)	Orgânico-natural	100-120	0.040
Fibra de coco (placa)	Orgânico-natural	70-90	0.045
Cânhamo (reforçado com poliéster)	Orgânico-natural	30	0.045

Tabela 2. Fatores de caracterização de impacte ambiental para alguns materiais correntes de isolamento térmico. Fonte: Adaptado de Pfunstein, 2008.

Material de isolamento	Potencial de aquecimento global (kgCO ₂ eq./kg)	Potencial fotoquímico de criação de ozono (kgC ₂ H ₂ /kg)	Potencial de acidificação (kgSO ₂ eq./kg)	Potencial de eutrofização (kgPO ₄ eq./kg)	Energia primária, não renovável (MJ/kg)
Lã de vidro	2.81	0.00124	0.00603	0.00072	4.4
Lã de rocha	1.16	0.00052	0.00750	0.00083	12.9
Argila expandida	0.31	0.00016	0.00194	0.00009	4.4
EPS	2.76	0.00095	0.00590	0.00061	83.0
XPS (com HFC)	21.97	0.00278	0.02854	0.00181	110.2
PUR (Rígida)	13.7	0.00048	0.06680	0.00160	102.1
Cortiça (ICB)	- 1.46	0.0001	0.00290	0.00025	7.19
Coco (Placa)	0.56	0.00019	0.03630	0.00094	34.9
Cânhamo (Painel)	- 0.55	0.00087	0.00672	0.00077	14.9

INTRODUÇÃO

Os materiais de isolamento térmico para aplicação em envolventes de edifícios são, atualmente, a solução mais utilizada para atingir valores de condutibilidade térmica adequados, compensando a baixa inércia térmica dos sistemas construtivos convencionais. Esses materiais, de diferentes tipos, densidades e espessuras, permitem que a envolvente, cobertura, fundações e paredes enterradas sejam isoladas de modo a garantir a funcionalidade das instalações, o conforto térmico dos ocupantes e a redução das emissões de carbono.

Assume especial importância, a identificação do tipo de matérias-primas envolvidas (de origem mineral ou orgânica) e que irão dar lugar a produtos "sintéticos" ou "naturais", em função do grau de transformação a que são sujeitas. No caso dos produtos naturais, a matéria-prima permanece essencialmente inalterada (Pfundstein et al, 2008). A Tabela 1 refere alguns dos produtos mais utilizados ou com mais notoriedade no mercado português.

Pode-se afirmar, de forma empírica, que um produto classificado de "orgânico-natural" possa gerar menor impacto ambiental do que os demais, e seja, portanto, mais adequado para utilização em projetos e obras de construção sustentável. Tal conclusão carece, no entanto, da necessária validação através de ferramentas adequadas, nomeadamente, por via da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), que permite a identificação dos impactes ambientais de um determinado material, produto ou sistema (MPS) ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a fase de conceção e projeto até à deposição ou reutilização (Crawford, 2011). A ACV viabiliza a utilização dessa informação para vários fins, designadamente, para a melhoria do desempenho ambiental de um MPS, e que pode ser caracterizado como o perfil dos potenciais efeitos sobre o Ambiente e a Saúde Humana tais como: Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential* – GWP), Destruição do Ozono Estratosférico, Acidificação do Solo e dos Recursos Hídricos, entre outros (Bragança e Mateus, 2011).

Tabela 3. Alguns materiais correntes de isolamento térmico e respetivos agentes expansores. Fonte: Adaptado de Wilson, 2010.

Insulation Material	R - value			Embodied carbon (KgCO2/kg)	Blowing agent (GWP)	Blowing agent (Kg/Kg foam)
	(R/inch)	(lb/ft2)	(MJ/kg)			
Cellulose (dense-pack)	3.7	3.0	2.1	0.106	None	0
Fiberglass batt	3.3	1.0	28	1.44	None	0
Rigid mineral wool	4.0	4.0	17	1.2	None	0
Polyisocyanurate (PIR)	6.0	1.5	72	3.0	Pentane(7)	0.05
SPF - closed cell (HFC-blown)	6.0	2.0	72	3.0	HFC.245fa (1030)	0.11
SPF - closed cell (water-blown)	5.0	2.0	72	3.0	Water (1)	0
SPF - open cell (water blown)	3.7	0.5	72	3.0	Water (1)	0
Expanded polystyrene (EPS)	3.9	1.0	89	2.5	Pentane(7)	0.06
Extruded polystyrene (XPS)	5.0	2.0	89	2.5	HFC.134a (1430)	0.08

A Tabela 2 apresenta dados provenientes de ACV's para os materiais de isolamento acima considerados, donde se destacam, em termos de contribuição para a pegada de carbono, os fatores de caracterização GWP e "Energia Primária não-renovável" (EPNR), relacionados com as Categorias de Impacto, "Aquecimento Global" e "Depleção de Recursos", respetivamente (Crawford, 2011). A informação atempada dos indicadores ambientais fornecidos por uma ACV é de extrema relevância para os *designers* e projetistas, que assim ficam na posse de elementos que lhes permitem desenvolver, ou prescrever, materiais de forma ambientalmente orientada (Jeswiet e Hauschild, 2005). Este modo de conceção - ambientalmente orientada e tendo em vista a redução ou eliminação de alguns dos impactes originados ao longo do ciclo de vida - é designada de *Ecodesign* (Crawford, 2011).

A concentração do protagonismo na eficiência energética operacional e nas energias renováveis relegaram, para plano secundário, a contribuição dos materiais para a sustentabilidade do edificado, em contexto de construção nova ou de reabilitação. Desse modo, os impactes associados às restantes fases do ciclo de vida podem fazer diminuir significativamente, ou até mesmo anular, o ativo ambiental alcançado durante a fase operacional (Ascenso, 2013).

Desse modo, para a realização de um projeto ecoeficiente, deve-se dispor atempadamente de informação relevante acerca dos MPS a prescrever, obtida a partir de uma ACV. Tal é o caso da Declaração Ambiental de Produto (DAP) que divulga, resultados específicos relativos a um dado material ou produto, mas também, outros aspectos que geralmente não constam de uma ACV (dados técnicos ou informação relativa as substâncias especiais), com a finalidade de providenciar informação relevante, afim que o potencial prescritor ou cliente possa comparar produtos, comparando resultados quantificados (Oliveira Augusto, 2011).

O setor da Construção, em Portugal, ainda carece da necessária divulgação deste tipo de informação especializada, no entanto, prevê-se a curto prazo a obrigatoriedade dos fabricantes executarem - e comunicarem - as DAP's referentes aos seus produtos, o que contribuirá de modo substancial para a disseminação de uma prescrição de base científica e ambientalmente orientada, tornando mais exequível a quantificação do impacte ambiental de produtos complexos, como é o caso dos edifícios (Bragança e Mateus, 2011).

Com o objetivo de avaliar a Sustentabilidade de materiais, ir-se-á proceder à aplicação da Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC) a quatro materiais de isolamento térmico, tidos como os mais adequados para aplicação em Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (*External Thermal Insulation Composite Systems* - ETICS), no contexto do mercado nacional.

METODOLOGIA

POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL DOS ISOLAMENTOS TÉRMICOS

Um dos exemplos mais evidentes da ausência de informação ambientalmente relevante é o subsector dos materiais de isolamento térmico, pela dificuldade que existe em identificar o respetivo valor intrínseco do Potencial de Aquecimento Global, uma das categorias de impacte com mais relevância nas Alterações Climáticas Antropogénicas (Bragança e Mateus, 2011).

Há que sublinhar o facto dos próprios materiais de isolamento contribuírem, *per se*, para o fenómeno do aquecimento global, de dois modos: através da energia

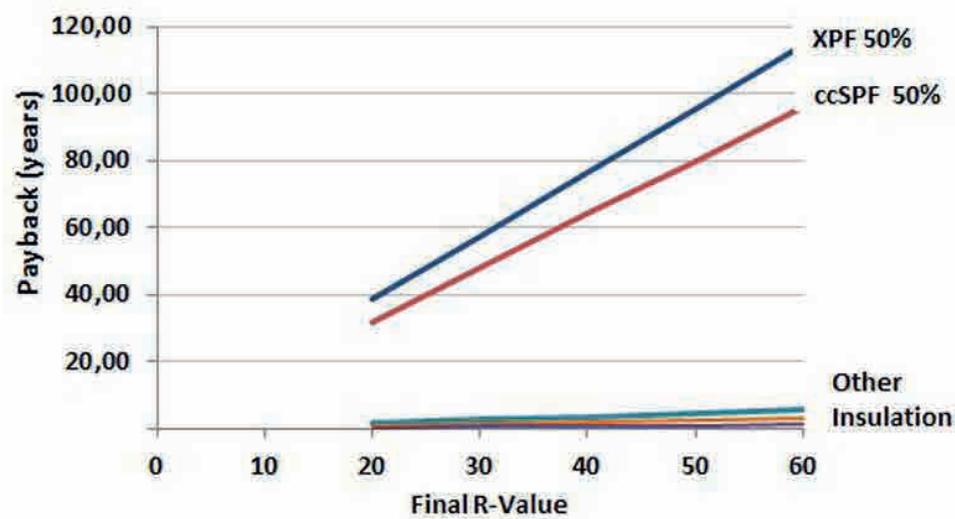


Figura 1. Estimativa do GWP paybak (em anos) para materiais espumados XPS e SPF. Fonte: Wilson, 2010: 11.

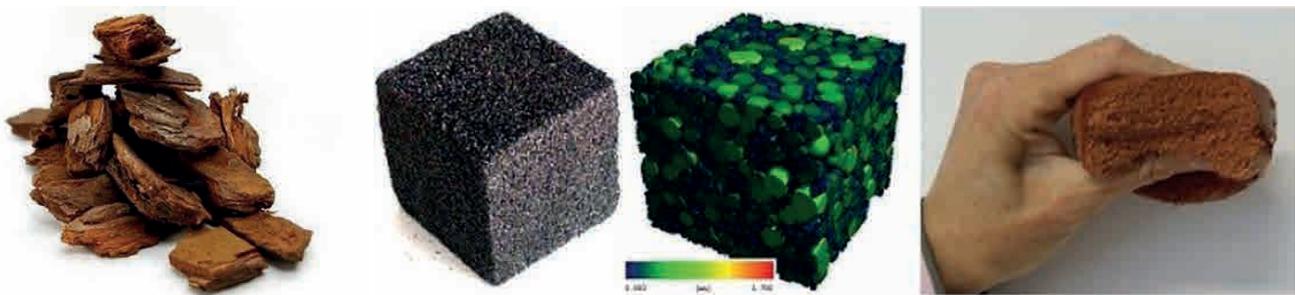


Figura 2. Espuma de isolamento térmico para a construção proveniente de casca de pinheiro Fonte: www.research-in-germany.org, 2015; www.haute.innovation.com, 2015.

incorporada (resultante da extração, fabrico e transporte) e, no caso de algumas espumas, por via da utilização de agentes expansores químicos (*blowing agents*), com alto potencial de aquecimento global, tendo como finalidade a obtenção de minúsculas bolhas de ar (Wilson, 2010) (Tabela 3).

Inicialmente, as espumas de poliestireno extrudido (XPS) e de poliuretano (PU) de célula fechada utilizavam agentes expansores de clorofluorocarbonetos (CFC) que foram abolidos por danificarem a camada de ozono, tendo sido substituídos por hidroclorofluorocarbonetos (HCFC) sem contributo significativo para a depleção da camada de ozono, mas, ainda, com elevado potencial de efeito de estufa. Por força do Protocolo de Montreal (United Nations Environment Programme, 2012), os HCFCs foram, por sua vez, abolidos e substituídos pelos hidrofluorcarbonetos (HFC), a terceira geração de agentes expansores (Wilson, 2010).

A nível global, por razões técnicas e económicas, a indústria do XPS tende a utilizar como agente expansor o HFC-134a, com um GWP = 1430 (horizonte temporal de 100 anos, em

conformidade com o 4º Relatório de Avaliação), ou seja, com um valor de mil quatrocentos e trinta vezes superior ao do CO₂ (GWP = 1) (Tabela 3).

Na Europa, contudo, existem várias empresas que adotaram voluntariamente hidrocarbonetos de baixo GWP, pelo que, facilmente se depreende a necessidade de dispor de uma ferramenta como a “Declaração Ambiental de Produto”, que permita comparar produtos tecnicamente “iguais”, mas com distinta pegada de carbono (United States Environmental Protection Agency, 2011).

A título ilustrativo é de referir que Wilson (2010) procedeu, para um edifício classificado como energeticamente eficiente, ao cálculo do GWP payback para vários tipos de isolamentos com, e sem, agentes expansores. O objetivo era o de calcular o período de retorno (em anos), após o qual se compensaria o efeito GWP devido à utilização de um determinado tipo de material.

Foram incluídos neste estudo, como representativos dos isolamentos espumados, o XPS (*Extruded Polystyrene Foam*) e o SPF (*Spray Polyurethane Foam*), ambos

expandidos com HFCs e assumida uma perda (vazamento) dos agentes expansores de 50% ao longo da vida útil, considerada como sendo de 50 anos (fenómeno que, de modo geral, não é levado em consideração).

Os cálculos revelaram que, no caso dos isolamentos sem agentes expansivos - celulose, lã mineral, EPS - o período de retorno era relativamente curto (de 1 a 4 anos), no entanto, para os espumados, com destaque para o XPS elaborado com HFC-134a, o período de retorno para condições equivalentes e constantes era de 36 anos.

Porém, à medida que se incrementava o isolamento e, conseqüentemente, a Resistência Térmica da envolvente (R-value), permitindo poupar na energia de aquecimento e arrefecimento, o GWP payback aumentava para valores próximos, ou acima do tempo de vida útil do edifício: no caso de se incrementar o isolamento XPS em 2" (5,08 cm) ou 4" (10,16 cm), o período de retorno passava a ser de 46 e de 65 anos, respectivamente (Figura 1).

No pressuposto de um clima mais ameno (a zona geoclimática de referência deste estudo é a cidade de Boston, Estados Unidos da América), e da perda dos agentes expansores ser superior aos 50% considerados, mantendo o isolamento constante, o período de retorno aumenta, pois as necessidades de aquecimento/arrefecimento são menores. No limite, se fosse assumida a hipótese de 100% de vazamento dos agentes expansores, o GWP payback duplicaria (Wilson, 2010).

Estamos, portanto, em presença de um efeito paradoxal, em termos da pegada de carbono, que é precisamente o que a adoção de isolamento térmico em edifícios se propõe mitigar, por via da eficiência energética. Este efeito, designado de "Paradoxo do Isolamento", pode ser revelado a partir de dados das ACV's (Tabela 2) ou das DAP's, e minimizado por via da escolha de materiais de isolamento de baixo, ou muito baixo Potencial de Aquecimento Global. Em qualquer caso, as Declarações Ambientais de Produtos são ferramentas indispensáveis ao *ecodesign*, aplicadas tanto à conceção de materiais e produtos, como a projetos de Arquitetura e de Engenharia intrinsecamente sustentáveis.

Com o intuito de diminuir a poluição e o CO₂ associados a alguns materiais de isolamento térmico convencionais, têm vindo a ser desenvolvidos esforços no sentido de encontrar alternativas viáveis do ponto de vista económico, social e ambiental à matéria-prima fóssil, de que são exemplos o projeto *BioFoam Bark* - um consórcio europeu constituído com a finalidade de desenvolver uma espuma isolante de origem orgânica e natural para aplicação ao setor da construção, a partir do tanino extraído da casca de árvores (Figura 2) (Biofoambark, 2014) e o *Mushroom Insulation*, um biomaterial de isolamento para construção e outros fins, obtido a partir de resíduos agrícolas e de micélio de cogumelo (Ecovative, 2014).

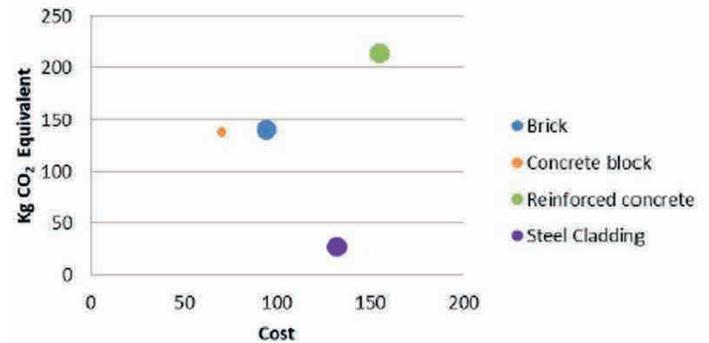


Figura 3. Resultados de LCC+A para 1m² de parede de diferentes tipos. Fonte: CILECCTA, 2013: 22.

AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE DE MATERIAIS

Para efeitos de escolha do material mais adequado do ponto de vista da sustentabilidade, não é suficiente considerar, apenas, o respetivo preço de aquisição, que é o critério dominante na prática. A partir da abordagem *Life-Cycle Thinking* é introduzido o conceito de Custos de Ciclo de Vida (*Life-Cycle Costs* - LCC), o qual inclui, para além dos habituais custos de produção, marketing e distribuição, também os custos operacionais, de manutenção e deposição. De facto, a adoção do paradigma do desenvolvimento sustentável pelas empresas implica, ao contrário da prática corrente, a internalização dos custos, de modo a que os aspetos ambientais e sociais estejam, também, refletidos no preço final (Buyle, Braet e Audenaert, 2013).

Deste modo, a informação ambiental contida numa ACV (*Life-Cycle Assessment* - LCA) deve ser integrada com a de cariz económico (*cost-efficiency*) fornecida pela LCC, o que, em geral, não é feito. Com vista a obstar a esta dificuldade, o consórcio europeu CILECCTA (*Construction Industry Life Cycle Cost Analysis*), desenvolveu uma ferramenta de tomada de decisão que incorpora pensamento probabilístico, promovendo a combinação dos dois métodos e criando um novo termo: *Life Cycle Costing and Assessment* (LCC+A), permitindo, em simultâneo, avaliar e eleger uma solução do ponto de vista económico e ambiental (CILECCTA, 2013).

A Figura 3 representa, graficamente, um exemplo simplificado, obtido a partir do CILECCTA, do provável custo de ciclo de vida e do impacto associado em CO₂ equivalente para a unidade funcional de 1 m² de parede, realizada a partir de vários materiais alternativos: tijolo (*brick*), bloco (*concrete block*), betão armado (*reinforced concrete*) e revestimento metálico (*steel cladding*).

Este método é aplicável ao setor da construção e constitui uma ferramenta que permite comparar, com relativa facilidade, custos e impactos ambientais para diferentes alternativas

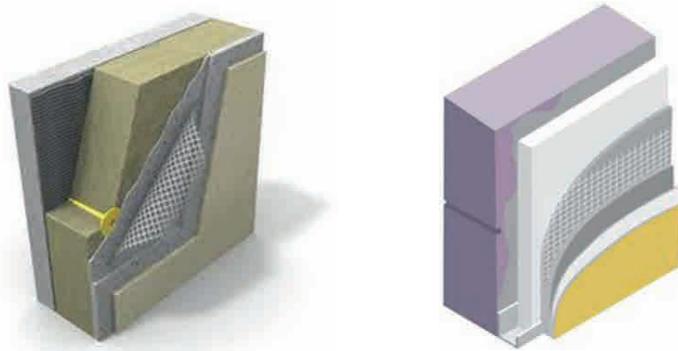


Figura 4. Fixação mecânica e por colagem em sistemas compósitos. Fonte: www.conars.1s.lv/41-fasades-siltinasana, 2015; Apfact (www.apfac.pt), 2015.

(CILECCTA, 2013). Em todo o caso, há que ressaltar, que é crucial considerar o mesmo período para cada uma das alternativas, mesmo que estas apresentem uma vida útil diferente, para que se possam retirar conclusões válidas (Bragança e Mateus, 2011).

A Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC) é um método que avalia a sustentabilidade de materiais, produtos e sistemas (MPS) em relação à solução mais utilizada (corrente) num determinado contexto - local, regional ou nacional - e que é considerada como a "solução de referência" tendo como pano de fundo os três vetores característicos do paradigma do desenvolvimento sustentável: ambiente, sociedade e economia (Bragança, Mateus e Koukkari, 2010).

Em Portugal, o sistema ETICS é um dos mais utilizados no isolamento de paredes pelo exterior, em obras novas e de reabilitação. Pode ser aplicado em paredes de alvenaria (tijolos, blocos de betão ou de betão celular autoclavado), de betão *in situ* ou pré-fabricadas (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010).

Os isolamentos, sob a forma de placas rígidas, são fixados por colagem e/ou mecanicamente e possuem uma espessura variável, em função da resistência térmica (R) que se pretende obter, normalmente, de 40 a 60 mm de espessura, no caso português (Figura 4). O tipo de isolamento mais utilizado é o EPS mas também o XPS e o ICB (aglomerado de cortiça expandida) (LNEC, 2010). De igual modo, utilizam-se com relativa frequência painéis rígidos de lã de rocha (RW), quando se pretende a melhoria da *performance* acústica ao ruído aéreo exterior ou de resistência ao fogo, em conjunto com o desempenho térmico.

RESULTADOS

Pelo acima exposto, encontra-se a justificação de atribuir ao "isolamento EPS fixado por colagem" o atributo de solução de referência, em sentido estrito, uma vez que não cabe no âmbito deste trabalho analisar a solução na totalidade (do substrato ao revestimento).

De acordo com as fichas técnicas de vários fabricantes e preços médios de aquisição no mercado nacional, propomo-nos avaliar e comparar o grau de sustentabilidade dos materiais de isolamento térmico utilizado em 4 soluções - EPS, XPS, RW e ICB - em função de 5 parâmetros: 2 ambientais (Potencial de Aquecimento Global e Energia Primária não-renovável), 2 sociais (desempenho térmico e acústico) e 1 económico (preço de aquisição).

O Potencial de Aquecimento Global (GWP) está relacionado com a emissão de gases de estufa para a atmosfera para um horizonte temporal de 100 anos, em quilogramas (kg) equivalentes de dióxido de carbono (CO₂) por kg de emissão libertada para a atmosfera, enquanto a Energia Primária não-renovável (EPNR), incorporada, representa o consumo de energia não-renovável (petróleo, gás natural, carvão e nuclear) associado à fase específica do ciclo de vida do produto, neste caso, respeitante ao processo de produção (*cradle-to-gate*) (Bragança e Mateus, 2011).

A contribuição do material de isolamento para o desempenho térmico do sistema é quantificado através do coeficiente de transmissão térmica U, referente a uma espessura nominal de 60 mm para os vários tipos de materiais envolvidos.

O desempenho acústico, tratando-se de materiais homogéneos, está fortemente correlacionado com a densidade do material - que é tida como um indicador *proxy* - e representado pela capacidade de isolamento ao ruído aéreo exterior, caracterizado pelo "índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado" (D_{2m,nT,w}), tal como definido no Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios (Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 2008).

O preço de aquisição (P) resulta de consultas a vários distribuidores de materiais de construção, é meramente indicativo, não inclui montagem nem trabalhos complementares e é exclusivamente válido para Portugal Continental. Como já comentado anteriormente, trata-se de uma simplificação centrada no aspeto económico e não internaliza demais custos ambientais e sociais.

Tabela 4. Quantificação dos parâmetros considerados para avaliação de sustentabilidade de materiais.
 Fonte: Oliveira Augusto, Bragança e Almeida, 2015.

Material de isolamento	Potencial de aquecimento global	Energia primária, Não-Renovável	Coefficiente de transmissão térmica (U)	Densidade	Preço de aquisição
	(kgCO ₂ eq./kg)	(MJ/kg)	(W/m ² °C)	(Kg/m ³)	(€/m ²)
Lã de rocha	1.16	12.9	0.63	150	11.28
EPS	2.76	83.0	0.63	30	3.98
XPS (HFC)	21.97	110.2	0.57	37	5.80
ICB	- 1.46	7.19	0.67	120	12.21

Tabela 5. Nota sustentável e classificação do desempenho. Fonte: Oliveira Augusto, Bragança e Almeida, 2015.

Indicador	Ambiental		Funcional		Económico	Nota sustentável (NS)	Classificação do desempenho
Peso (%)	0,40		0,40		0,20		
Parâmetros	GWP	EPNR	U	Dens.	P		
Peso (%)	0,75	0,25	0,60	0,40	1,00		
Lã de rocha	0,67	0,24	0,24	0,40	0,10	0,64	Superior
EPS	0,61	0,07	0,24	0,00	1,00	0,57	Referência
XPS (HFC)	0,00	0,00	0,60	0,02	0,78	0,41	Inferior
ICB	0,75	0,25	0,00	0,30	0,00	0,52	Inferior

A Tabela 4 apresenta os valores dos parâmetros, para cada um dos materiais selecionados, a fim de proceder à respetiva avaliação de sustentabilidade dos materiais. Os dados foram recolhidos a partir das Tabelas 1 e 2, com exceção do preço médio de aquisição. O coeficiente de transmissão térmica (U) foi calculado a partir dos respetivos valores de condutividade térmica (λ) dos materiais.

A metodologia MARS-SC permite comparar parâmetros de diferentes grandezas e escalas, procedendo a uma normalização através da fórmula de Diaz-Balteiro (Bragança, Mateus e Koukkari, 2010), tornando-os adimensionais e numa escala entre 0 (pior valor) e 1 (melhor valor). De seguida, procede à sua agregação mediante a ponderação (importância) atribuída a cada um dos parâmetros, relativamente a cada um dos indicadores que refletem as três dimensões do Desenvolvimento Sustentável: ambiental, funcional (social) e económico (Tabela 5). A ponderação dos parâmetros não é consensual, variando em função da metodologia utilizada ou de outros fatores, podendo, também por isso, acarretar um elevado grau de subjetividade.

Ao nível dos três indicadores de sustentabilidade (*triple bottom line*), pode-se considerar a distribuição equitativa pelas três dimensões (33%). Contudo, a MARS-SC adota, por defeito, uma distribuição que realça a importância das dimensões ambiental (40%) e social (40%), em detrimento da económica (20%) com vista a salientar estes dois aspetos que, no atual paradigma de desenvolvimento, não têm sido prioritários (Bragança, Mateus e Koukkari, 2010). O peso dos parâmetros pode ser ajustado a cada caso ou objetivo particular, desde que devidamente justificado (Tabela 5).

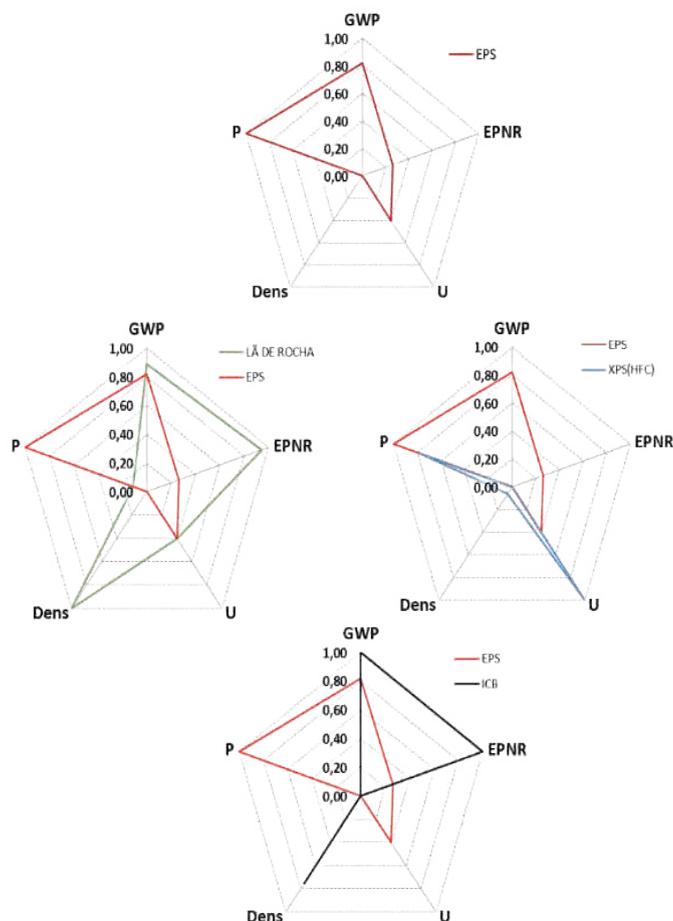


Figura 5. Perfil sustentável dos materiais de isolamento térmico analisados tendo como referência o EPS.
 Fonte: Oliveira Augusto, Bragança e Almeida, 2015.

De modo a identificar visualmente as diferenças que ao nível do desempenho existem entre os vários materiais, representa-se por intermédio de um diagrama de Amoeba (radar), os valores normalizados dos parâmetros. O gráfico terá tantos raios quantos os parâmetros em causa (neste caso cinco) e, quanto mais perto do centro, menos sustentável. A Figura 5 ilustra o “perfil sustentável” do material de referência e os dos restantes, comparativamente.

Como se pode verificar pela análise da Tabela 5, apenas uma solução (Lã de rocha) tem uma “Nota Sustentável” superior à da solução de referência (EPS), tendo em conta a ponderação definida para os três indicadores e para os sete parâmetros considerados.

Para esse resultado, contribuiu decisivamente o fato deste material ter, em comparação, uma reduzida contribuição para o aquecimento global (GWP), bem como assumir, em simultâneo, um bom comportamento térmico (U) e acústico (Dens.), apesar do fator preço (P).

No extremo oposto encontra-se a solução à base de XPS (HFC) fortemente penalizada pela sua origem fóssil (GWP) e processo de fabrico (EPNR), para além da reduzida capacidade de isolamento acústico (Dens.) O preço (P) e a térmica (U) são os aspetos mais positivos deste material.

Os painéis rígidos de ICB apesar de serem os mais pontuados nos parâmetros ambientais GWP e EPNR perdem competitividade devido ao preço (P) e à correlação positiva que existe entre este e a espessura com vista à obtenção de isolamento térmico (U). O desempenho acústico é também um aspeto a salientar, sempre que se trate de um requisito funcional a preencher.

A solução de referência EPS tem o seu expoente no preço (P), que é o mais competitivo de todas as soluções analisadas, mas também assume o valor mais baixo para o desempenho acústico (Dens.) em virtude da sua reduzida densidade. No entanto, o bom comportamento térmico (U) aliado ao fato de ser um material que não utiliza - ao contrário dos poliestirenos extrudidos - agentes expansores, fortemente penalizantes em termos ambientais, permite-lhe equilibrar os aspetos mais desfavoráveis.

CONCLUSÕES

Os materiais de isolamento térmico são imprescindíveis para a obtenção dos requisitos de eficiência energética consignados na Diretiva Europeia EPDB (recast) e para a conceção de edifícios de alto desempenho energético como

Passivhaus ou Near Zero Energy Buildings (NZEB). Contudo, a perspetiva dominante centra-se no saldo energético operacional, relegando para segundo plano a energia incorporada e a respetiva pegada de carbono respeitantes às outras fases do ciclo de vida dos edifícios e dos materiais.

A metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) permite identificar os impactos dos materiais envolvidos, nomeadamente os potenciais efeitos sobre o Ambiente e a Saúde Humana que devem ser considerados pelos stakeholders (fabricantes, projetistas, construtores e utentes).

A conceção de produtos ambientalmente orientada designa-se de ecodesign, e para que esta seja efetiva, a informação relevante obtida a partir de ACVs ou de Declarações Ambientais de Produto, deverá estar disponível desde o início do processo.

Em Portugal, existe uma carência de informação ambiental de modo a poder conceber materiais, produtos ou serviços baseados em ecodesign. No entanto, prevê-se a prazo, a obrigatoriedade de os fabricantes realizarem, e comunicarem, as DAPs dos seus produtos, o que irá contribuir para a tomada de decisão mais consciente por parte dos promotores, projetistas e construtores.

O caso dos materiais de isolamento térmico para a construção são um exemplo paradigmático: devido à falta generalizada de informação ambiental certificada, não é possível comparar materiais de diferentes fabricantes e tipologias, possibilitando que isolamentos de elevado Potencial de Aquecimento Global (e.g. XPS) sejam utilizados massivamente com a finalidade de obter eficiência energética operacional em edifícios, levando a que o período de retorno do carbono (GWP payback) fique inviabilizado em tempo útil, naquilo que se pode designar como o “Paradoxo do Isolamento”, em que “quanto mais (isolamento), pior”.

Tem vindo a ser realizada Investigação no sentido de desenvolver produtos alternativos à matéria-prima fóssil, viáveis do ponto de vista ambiental, social e económico, baseados em biomateriais. Porém, a abordagem económica feita exclusivamente a partir do preço de aquisição de um produto ou serviço, não reflete e distorce a realidade, pelo que, se deverá passar a internalizar os Custos de Ciclo de Vida: operacionais, de manutenção, deposição, valor residual, ambientais e sociais.

De modo a ser eficaz, a informação contida numa LCA (Avaliação de Ciclo de Vida) deve ser conjugada com a LCC (Custos de Ciclo de Vida), o que geralmente não acontece. Para colmatar essa falha, foi desenvolvida uma ferramenta de tomada de decisão que integra

os dois métodos e cria um novo conceito: Life Cycle Costing and Assessment (LCC+A), que permite avaliar em simultâneo, uma alternativa do ponto de vista ambiental e económico.

A aplicação da Metodologia de Avaliação de Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC) aos quatro tipos de materiais de isolamento térmico acima expostos, possibilita a atribuição de uma métrica (nota sustentável) que justifica uma seriação - do mais para o menos sustentável - relativamente à solução de referência preconizada.

No entanto, para a sua correta aplicação, torna-se necessário utilizar a informação proveniente de LCA e de LCC, para além da devida ponderação dos parâmetros, de modo a não enviesar os resultados. Verifica-se, neste caso - e é do conhecimento geral - que o parâmetro "Preço de Aquisição" (P) penaliza as soluções com menor "Potencial de Aquecimento Global" (GWP), o que é paradoxal. Assim, propõe-se uma ponderação que estimule e reforce a componente ambiental em detrimento da económica, ou, em alternativa, a disseminação e aplicação dos princípios e técnicas de LCC.

REFERÊNCIAS

ASCENSO, Rita. Pensar Sustentável! *Edifícios e Energia*, 2013, n.º 85, pp. 8-15.

BRAGANÇA, Luís e MATEUS, Ricardo. *Avaliação do ciclo de vida dos edifícios - impacte ambiental de soluções construtivas*. Guimarães: Ed. Autor, 2011.

BRAGANÇA, Luís; MATEUS, Ricardo e KOUKKARI, Heli. Building Sustainability Assessment. *Sustainability*, 2010, n.º 2, pp. 2010-2023.

BUYLE, Mattias, BRAET, Johan e AUDENAERT, Amaryllis. Life cycle assessment in the construction sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, n.º 26, pp. 379-388.

CILECCTA. *Sustainability within the Construction Sector: CILECCTA - Life Cycle Costing and Assessment*. Oslo: SINTEF Building and Infrastructure, 2013.

CRAWFORD, Robert. *Life Cycle Assessment in the Built Environment*. Oxon: Spon Press, 2011.

ECOVATIVE. *Ecovativedesign. Building Insulation* [em linha]. [Consultado 10 setembro 2014]. Disponível na: <http://www.ecovativedesign.com/products-and-applications/insulation>

JESWIET, Jack e HAUSCHILD, Michael. EcoDesign and future environmental impacts. *Materials and Design*, 2005, n.º 26, pp. 629-634.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL - LNEC. *Regras para a concessão de uma Aprovação Técnica Europeia (ETA) ou de um Documento de Homologação (DH) a Sistemas Compósitos de Isolamento pelo Exterior (ETICS)*. Lisboa: Departamento de Edifícios - Núcleo de Revestimentos e Isolamentos, 2010.

MINISTÉRIO DO AMBIENTE, DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL - MAOTDR. *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios*. 2008. *Decreto-lei n.º96/2008 de 9 de Junho*. Lisboa: Diário da República, 1ª Série, 2008.

OLIVEIRA AUGUSTO, Carlos. *A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida na definição de critérios de sustentabilidade em edifícios*. Lisboa: Universidade Lusíada Editora, 2011.

PFUNDSTEIN, Margit; GELLERT, Roland; SPITZNER, Martin H. e RUDOLPHI, Alexander. *Insulating Materials*. Munich: Detail Practice, 2008.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP. Ozone Secretariat. *Handbook for the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*. 9ª ed. Nairobi: UNON, 2012.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. *Transitioning to low-GWP alternatives in building / construction foams* [em linha]. [Consultado 9 setembro 2014]. Disponível na: http://www.epa.gov/ozone/downloads/EPA_HFC_ConstFoam.pdf

WILSON, Alex. Avoiding the Global Warming Impact of Insulation. *Environmental Building News*, 2010, vol. 19, n.º 6, pp. 58-67.



EVALUACIÓN HIGROTÉRMICA Y ENERGÉTICA DE UN EDIFICIO ESCOLAR PERTENECIENTE AL PROGRAMA NACIONAL 700 ESCUELAS, EN EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JUAN, ARGENTINA.

A HYGROTHERMAL AND ENERGY EVALUATION OF A SCHOOL BUILDING BELONGING TO THE "700 SCHOOLS" NATIONAL PROGRAM, IN THE METROPOLITAN AREA OF SAN JUAN, ARGENTINA.

MARÍA GUILLERMINA RÉ

Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat. Facultad de
Arquitectura, Urbanismo Diseño.
Universidad Nacional de San Juan.
San Juan, Argentina
guilleminare@gmail.com

IRENE BLASCO LUCAS

Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat. Facultad de
Arquitectura, Urbanismo Diseño.
Universidad Nacional de San Juan.
San Juan, Argentina
iblasco06@gmail.com

IRENE BLASCO LUCAS
CONICET

Santa Rosa, La Pampa, Argentina
cfilippin@cpenet.com.ar

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento higrotérmico y energético anual de un edificio escolar perteneciente al Programa Nacional 700 Escuelas, en el Área Metropolitana de San Juan, Argentina. Para ello, se efectúa el cálculo estacionario aplicando las Normas IRAM y se procesan los monitoreos realizados en tres momentos claves de los años 2013 y 2014, con el edificio en condiciones reales de ocupación, los cuales se relacionan con lecturas diarias de consumo energético. Adicionalmente, se estudian los niveles de confort en tres aulas mediante el método Fanger, determinando con un software específico los índices PMV y PPD. Por último, se computan los consumos históricos eléctricos y de gas, y se calculan los valores por unidad de superficie, que se comparan con antecedentes nacionales y estándares internacionales. El análisis llevado a cabo, a partir de la consideración de datos teóricos y empíricos, permite concluir que con un consumo anual promedio de 88 kWh/m² el edificio cumple estándares internacionales de eficiencia energética escolar, sin embargo, su desempeño térmico es deficiente en las estaciones frías y cálidas, con ambientes que escapan de la zona de confort gran parte del tiempo.

Palabras clave

Evaluación higrotérmica, evaluación energética, confort térmico, edificio escolar

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the annual hygrothermal and energy behavior of a school building belonging to the "700 Schools" National Program in the Metropolitan Area of San Juan, Argentina. To this end, stationary state calculations were made using IRAM standards. Monitoring was performed at three key times during the years 2013 and 2014 with the building under real occupation conditions. This data was processed and related to daily energy consumption readings. Additionally, comfort levels in three classrooms were studied using the Fanger method, and PMV and PPD indices were determined with a specific software. Finally, historical electricity and gas consumption were computed, and values per unit area were calculated, which were compared with national data and international standards. The analysis carried out, based on theoretical and empirical data, supports the conclusion that with an average annual consumption of 88 kWh/m² the building meets international standards of school energy efficiency. However, its thermal performance is deficient in cold and warm seasons, as evidenced by rooms that are outside the comfort zone most of the time.

Keywords

Hygrothermal assessment, energy assessment, thermal comfort, school building

INTRODUCCIÓN

El gobierno nacional ha ejecutado, entre el año 2004 y el 2008, el "Programa Nacional 700 Escuelas" (PN700E), destinado a la construcción de edificios nuevos o sustitución de existentes. Dentro de este marco, existe en el país un total de 710 nuevos establecimientos, construidos y en funcionamiento, siendo 24 los erigidos en la Provincia, de los cuales 8 se encuentran en el Área Metropolitana de San Juan (AMSJ).

El análisis de consumos energéticos en tipologías escolares convencionales a partir de auditorías energéticas, mediciones higrotérmicas y datos teóricos surgidos del cálculo de la demanda energética, constituye un tema abordado por diversos grupos de investigación en las últimas décadas. En Argentina, se ha llevado a cabo un estudio en escuelas de Neuquén (Ne) y Buenos Aires (BsAs), en el cual se calculan los consumos teóricos en relación a la superficie cubierta construida climatizada, obteniendo promedios de 132 kWh/m²/año y 135 kWh/m²/año, respectivamente (San Juan, Hoses y González, 2000). Los valores obtenidos en el trabajo oficial de indicadores tendientes a una posible intervención para el reciclado edilicio y para la nueva arquitectura educacional. Asimismo, en Chaco, una investigación busca conocer el comportamiento energético de dos edificios escolares de Nivel Inicial, a partir del análisis comparativo de cuatro auditorías energéticas de temperatura, humedad relativa e iluminancia (Boutet *et al.*, 2011). Los resultados indican que independientemente de la tecnología constructiva implementada y del período histórico de ejecución del edificio, los espacios interiores son susceptibles de sobrecalentamiento a causa del ingreso de irradiación solar directa a través de las aberturas orientadas hacia el Noreste y Noroeste, incluso en días frescos de otoño, lo cual incrementa la sensación de discomfort y el consecuente consumo energético para climatización.

A nivel internacional, una investigación desarrollada en Israel, menciona que en climas cálidos y templados, las grandes fuentes de calor internas que normalmente se encuentran en los edificios escolares impiden alcanzar el confort térmico sin refrigeración activa en verano, pero no son suficientes para eliminar la necesidad de calefacción en invierno. El uso del aire acondicionado empobrece la calidad del aire, mientras que la ventilación natural provoca pérdidas de energía no controladas (Becker, Goldberger y Paciuk, 2007).

Por otro lado, existen estudios experimentales que relacionan el rendimiento escolar en función del confort térmico, destacando la importancia de establecer condiciones interiores adecuadas para el desarrollo de un correcto proceso de enseñanza-aprendizaje. El trabajo realizado en las aulas por Wargocki y Wyon (2006), permitió medir la influencia de las temperaturas elevadas en los ámbitos de estudio. Los resultados indicaron un rendimiento óptimo para las distintas actividades, a una temperatura de 20°C; y una disminución del rendimiento en un 30%, en temperaturas de 27°C a 30°C. Las temperaturas del aula fueron manipuladas mediante los sistemas de refrigeración disponibles, manteniendo todos los demás factores constantes en la medida de lo posible.

Hasta el presente, se ha registrado escasa información sobre el tema en la provincia de San Juan (Ré, Blasco Lucas y Filippin, 2015) y existe un total desconocimiento sobre cómo se comportan los edificios escolares en la actualidad. El objetivo de esta investigación es, en ese sentido, evaluar el comportamiento higrotérmico y energético, de un edificio escolar diseñado y construido dentro del PN700E, seleccionado como caso de estudio, y conocer las condiciones de confort térmico de aulas específicas, durante los períodos monitoreados con la escuela en situación normal de ocupación.

CASO DE ESTUDIO

El Colegio Provincial de Rivadavia es una institución de gestión Estatal de Nivel Secundario, que comenzó a funcionar en agosto del año 2008. Perteneció al PN700E y posee las características de diseño y constructivas de los edificios de este tipo, sugeridas en el Manual de Proyecto (PN700E, 2004) de dicho Programa.

Características Edilicias: El establecimiento posee un sector administrativo, dos zonas de aulas, laboratorio, centro de recursos, sala informática y salón de usos múltiples (SUM), además del área de servicios (Figura 1). Los accesos están jerarquizados y se comunican expeditamente con las circulaciones semicubiertas (Figuras 2, 3 y 4). El edificio tiene una superficie cubierta de 1197m² y una superficie útil de 1002m², con un volumen de masa relativo de 10,21% y una superficie relativa de aberturas de 24,85% (Tabla 1).

Características de la tecnología constructiva: La envolvente es de mampostería de ladrillón de 30cm, con terminación exterior de revoque grueso planchado. Las cubiertas superiores difieren en su materialidad: para las aulas se utiliza losa inclinada con terminación de baldosa cerámica; para las galerías, administración y servicios, losa plana; y para el SUM, estructura metálica con cubierta de chapa. La carpintería es metálica y posee parasoles en las orientaciones norte y oeste.

Equipamiento: Para calefacción, se cuenta con estufas a gas tiro balanceado en todos los espacios administrativos y de estudio. Para refrigeración, se dispone de dos ventiladores de pared por aula, y ventiladores de techo en los demás espacios. Solo hay un aire acondicionado, que se ubica en el centro de recursos. El equipamiento para climatización se indica en la Figura 1.

Características de uso: Los horarios de clase son dos, el turno mañana que funciona de 8h a 13h, y el turno tarde, de 13h a 18h. Los días sábados se desarrollan actividades especiales. Además, el colegio cuenta con guardias nocturnas de 19h a 7h y personal de limpieza de 7.30h a 18.30h.

Ubicación y clima: El edificio se encuentra localizado en un medio urbano de uso residencial, en el Departamento de Rivadavia, del AMSJ. La ciudad forma parte de la región cuyana, al centro oeste de la Argentina, Latitud -31°6', Longitud -68°5', y 615m sobre el nivel del mar; pertenece a la Zona III (Templada Cálida), Subzona "a", según la Norma IRAM 11603. El clima es árido seco con grandes amplitudes térmicas diarias y estacionarias (Tabla 2).

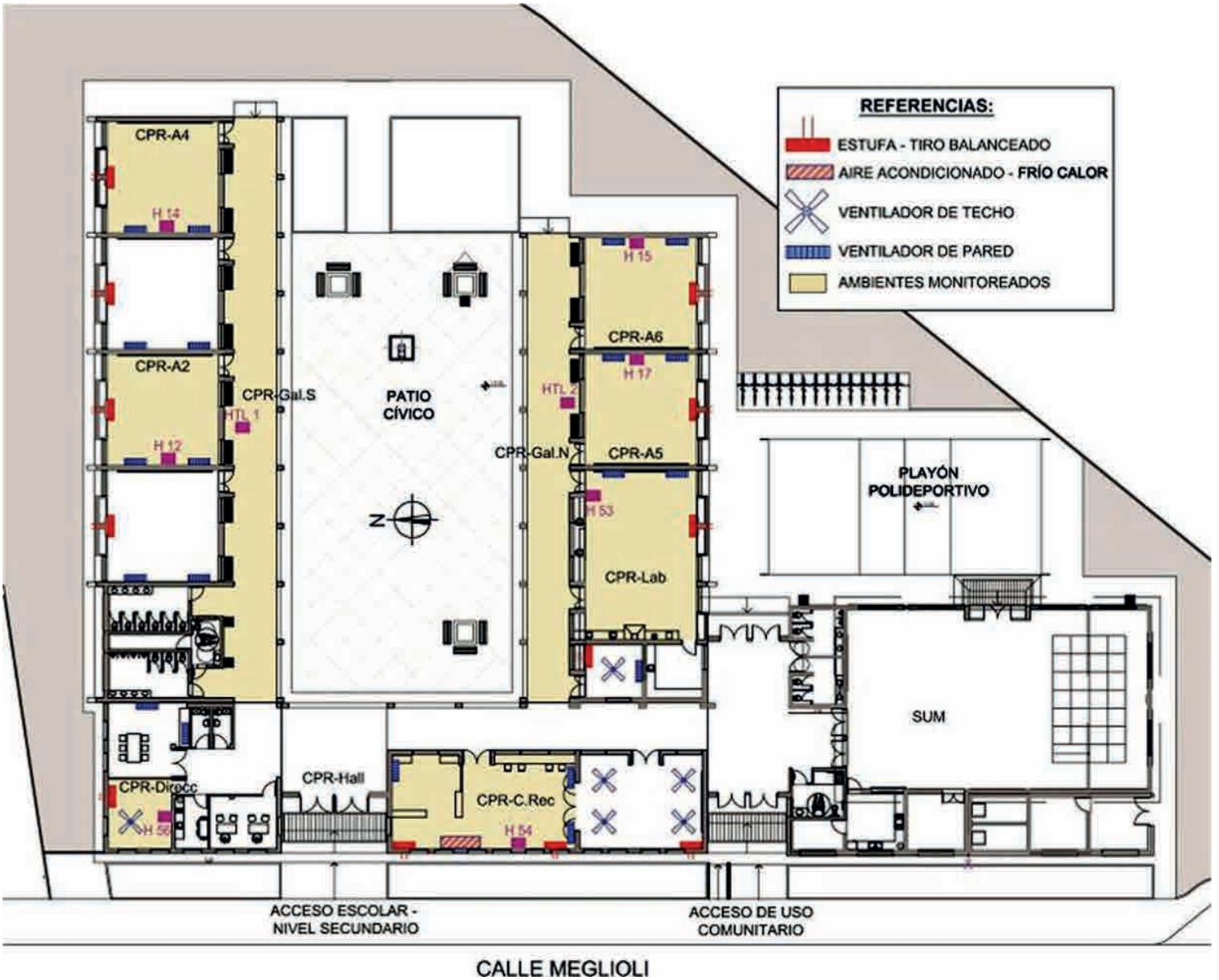


Figura 1. Planta del Colegio Provincial de Rivadavia. Fuente: Elaborada por la autora sobre plano digital suministrado por Inversión Educativa, Ministerio de Educación.



Figura 2. Acceso nivel secundario. Figura 3. Acceso comunitario y SUM. Figura 4. Circulaciones semicubiertas del sector aulas. Fuente: Fotografías tomadas por la autora.

Tabla 1. Características edilicias. Fuente: Elaboración de las autoras con datos de www.tutiempo.net.

CARACTERÍSTICAS EDILICIAS	UNIDAD	VALOR
Sup Cubierta:	m ²	1197
Sup Semicubierta:	m ²	464
Sup Total:	m ²	1661
Sup Util - Interior:	m ²	1002
Factor de Forma	m ⁻¹	0,70
FAEP (Esteves, et al., 1997)		1,81
Sup. Rel. Aberturas (Puert. y Vent.)	%	24,85
Vol. Masa Relativo	%	10,21
Volumen Interior	m ³	4279
Carga de Calefacción Anual (Q _{cal})	kWh	77433
Orientación Preponderante		Nor-Sur
Orientación Fachada Ppal.		Oeste
Ventilación cruzada		SI

Tabla 2. Principales parámetros climáticos. Fuente: Elaboración de las autoras con datos de www.tutiempo.net.

PARAMETROS CLIMATICOS	UNIDAD	VALOR		
		ANUAL	INVIERNO Julio	VERANO Enero
Tº Media	ºC	18,2	8,4	27,1
Tº Media Máxima	ºC	27,1	18,1	35,2
Tº Media Mínima	ºC	10,2	-0,5	19,7
Humedad Relativa	%	43,7	48,5	43,6
Amplitud Térmica Media	ºC	17,1	18,6	15,5
Radiación Media sobre Superficie Horizontal	kWh/m ²	5,4	4,1	6,1
Velocidad Media Viento	km/h	13,3	11,0	16,3

METODOLOGÍA

La evaluación en régimen estacionario del edificio se realiza aplicando los procedimientos sugeridos en las Normas IRAM 11601, 11604, 11605 y 11659-2. Para ello se utilizan las planillas programadas KG-MOD (Blasco Lucas, 2013), las cuales posibilitan el cálculo simultáneo y el análisis comparativo de la Transmitancia Térmica (K, en la denominación argentina; U en el ámbito internacional) de los distintos elementos que conforman la envolvente, el coeficiente volumétrico de calefacción (G_{cal}), la carga térmica de calefacción anual (Q_{cal}), la carga térmica de refrigeración (Q_R) con su coeficiente volumétrico (G_R). Los valores obtenidos se comparan con los máximos admisibles recomendados por las Normas.

Las mediciones se llevaron a cabo en condiciones reales de uso por períodos de 15 a 20 días corridos (Tabla 3), con lecturas de temperatura (°C) y humedad relativa (HR%) cada 15 minutos. Para ello se utilizaron *data-loggers* tipo HOBOs U12, cuya exactitud es de ± 0,35°C en las mediciones de temperatura, y de ± 2,5% en las de humedad relativa. Los datos climáticos exteriores se registraron con una estación meteorológica tipo DAVIS localizada en el techo del Instituto de Energía Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan (Pontoriero y Hoesé, 2013-2014). Los datos recolectados se procesaron aplicando el Programa de Mediciones Higrotérmicas y Lumínicas (PROMEDI-HTL) (Blasco Lucas, 2013), el cual permite realizar el análisis comparativo numérico y gráfico. Durante los períodos monitoreados se relevaron, diariamente e *in-situ*, los consumos eléctricos y de gas. Los valores se relacionaron con las medias diarias de temperatura exterior y de tres aulas seleccionadas por su diferente ubicación y orientación (A2, A4 y A6).

Adicionalmente, se estudian los niveles de confort en dichas aulas, con el empleo del programa de cálculo del PMV (Valor Medio Predicho) y PPD (Porcentaje de Personas en Disconfort), de Gonzalo (2003), desarrollado según el procedimiento indicado en Santamouris y Asimakopoulou (1996). Los índices se basan en los publicados en la Norma ISO 7730 (2005) para la evaluación del confort térmico en un ambiente. A los valores obtenidos se los compara con los resultados de una encuesta realizada en las aulas, en días puntuales de invierno y verano; la misma es una adaptación para la tipología escolar de la diseñada por Kuchen (2008), y permite medir la variable nivel de confort térmico a partir de preguntas cerradas, estructuradas hacia juicios valorativos.

Para el análisis de los consumos eléctricos y de gas históricos que tuvieron lugar desde enero de 2009 hasta diciembre de 2014, se aplican técnicas estadísticas en series mensuales. Con los valores obtenidos se calculan los índices de consumo por unidad de superficie y se los compara con estándares internacionales y nacionales.

ANÁLISIS TÉRMICO-ENERGÉTICO ESTACIONARIO

Los resultados del análisis de las propiedades térmicas de los elementos que conforman la envolvente, se muestran en la Tabla 4, que exhibe para cada componente la comparación de los K con los valores máximos admisibles (K_{adm}) de invierno y verano recomendados por la Norma IRAM 11605 para la zona, en el nivel medio de calidad constructiva (B). Puede observarse que la mayoría de los elementos superan dichos valores, lo cual denota que no alcanzan la calidad constructiva sugerida. Únicamente el techo metálico con K= 0,37 W/m²K en verano y K= 0,38 W/m²K en invierno, presenta valores inferiores, con diferencias positivas del 23% y 54%.

Tabla 3. Períodos de medición. Fuente: Elaboración de las autoras

Período	Fecha		Condiciones de uso	Edificio	Cantidad			Climatización Mecánica
	Inicio	Final			Días	Horas	Registros	
1	25/7/2013	13/8/2013	Normal	En uso	19	451	1857	Con
2	1/11/2013	15/11/2013	Normal	En uso	14	336	1344	Con
3	27/3/2014	17/4/2014	Normal	En uso	21	507	2029	Parcial

Tabla 4. Propiedades térmicas de los componentes constructivos y térmico-energéticos del edificio. Fuente: K Max Adm en Zonas III y IV, calidad B construcción (Norma IRAM 11605, 1996, modificación N°1, 2002); QR Adm y GR Adm - Tablas 1B y 2B (IRAM 11659-2, 2007); Gcal Admisible (Norma IRAM 11604, 2001).

COMPONENTE y MATERIAL	VERANO				INVIERNO			
	K	K Adm	K Dif		K	K Adm	K Dif	
	[W/m ² °C]	[W/m ² °C]	[W/m ² °C]	[%]	[W/m ² °C]	[W/m ² °C]	[W/m ² °C]	[%]
Muro CPR- Ext. Ladrillon	2,02	1,25	-0,77	-62	2,02	1,00	-1,02	-102
Muro CPR- Ext. Piedra	2,25	1,25	-1,00	-80	2,25	1,00	-1,25	-125
Techo CPR- Losa Inclinada	1,41	0,48	-0,93	-194	1,56	0,83	-0,73	-87
Techo CPR- Losa Plana	1,51	0,48	-1,03	-214	1,68	0,83	-0,85	-102
Techo CPR- Metálico	0,37	0,48	0,11	23	0,38	0,83	0,45	54
Puerta: Chapa y Vidrio	5,77	1,25	-4,52	-361	5,77	1,00	-4,77	-477
Ventana: Chapa y Vidrio Simple	5,69	1,25	-4,44	-355	5,69	1,00	-4,69	-469
CARGAS TERMICAS	de Refrigeración (Q _R)				de Calefacción anual (Q _{cal})			
	Q _{R adm}	Q _R	Diferencia Q _R			Q _{cal}		
	[W]	[W]	[W]	%		[kWh]		
	83889	212666	-128778	-154		77433		
COEFICIENTES VOLUMÉTRICOS	de Refrigeración (GR)				de Calefacción anual (Gcal)			
	G _{R adm}	G _R	Diferencia G _R		G _{cal adm}	G _{cal}	Diferencia G _{cal}	
	[W/m ³]	[W/m ³]	[W/m ³]	%	[W/m ³ °C]	[W/m ³ °C]	[W/m ³ °C]	%
	19,75	49,70	-29,95	-152	1,19	2,24	-1,05	-88,18

Tabla 5. Datos utilizados para el cálculo de los índices PMV y PPD. Fuente: Elaboración de las autoras; (*) valores de la Organización Mundial de la Salud.

Aula	Datos anatómicos			Actividad metabólica (MET)	Nivel de vest. JULIO (Clo)	Nivel de vest. NOVIEM. (Clo)	Nivel de vest. ABRIL (Clo)	Velocidad del aire (m/s)	
	Edad (años)	Peso (Kg) (*)	Talla (cm) (*)					Días laborales	Días no laborales
2	13	43	159	70	1,4	0,6	0,8	0,15	0,1
4	15	49	167						
6	17	55	169						

Los valores obtenidos para G_{cal} y G_R (Tabla 4), también superan a los admisibles sugeridos por las Normas IRAM 11604 y 11659-2, en -88,18% (Dif G_{cal}) para calefacción y en -152% (Dif G_R) para refrigeración. El resultado de Q_{cal} es de 77.433 kWh/año, considerando Grados-Día base 18 (GD-18), que para la ciudad de San Juan es de 1096 °C/día (IRAM 11603, 2012), y excluyendo las ganancias internas y la radiación solar incidente, como lo estipula la Norma 11604. Para refrigeración, dichas ganancias son incluidas en el cálculo, porque así lo establece la Norma 11659-2; el valor Q_R obtenido es de 212.666 W y excede al admisible en -154%.

MONITOREO HIGROTÉRMICO Y CONSUMOS ENERGÉTICOS

El monitoreo higrotérmico se realizó en diferentes estaciones del año conforme lo detallado en la Tabla 3. En los planos de la Figura 1 se indican los espacios monitoreados, la ubicación de los sensores y el equipamiento para calefacción y refrescamiento que posee el colegio. Se adoptan como umbrales que definen la zona de confort los contemplados en la ISO 7730 (2005) para una categoría C ($PPD \leq 15\%$, $-0,7 \leq PMV \leq +0,7$) en espacio áulico, siendo para verano entre 22°C y 27°C y para invierno entre 19°C y 25°C. En las gráficas de consumo, se resaltan los fines de semana con recuadro color verde.

Las mediciones de invierno (período 1) se ven representadas en la Figura 5, donde se observa que los ambientes permanecen parcialmente dentro de la zona de confort. Los valores más bajos de temperaturas mínimas se registran en las aulas A2 (11,2°C) y A4 (11,5°C), cuyo acceso es a través de una galería al sur y cuenta con ventanas al norte, con parasoles cerrados en un 50%. El consumo promedio de gas fue 314 kWh/día y el eléctrico de 123 kWh/día, sin demasiada diferencia durante los fines de semana (Figura 6), lo cual indicaría que se utiliza la calefacción los sábados cuando se llevan a cabo las actividades extracurriculares, y que los domingos algunos artefactos permanecen encendidos.

El monitoreo de época cálida (período 2) evidencia que los espacios permanecen fuera de la zona de confort por altas temperaturas la mayoría del tiempo (Figura 7). Las menores temperaturas interiores se registran entre las 7h y las 10h, como consecuencia de la ventilación natural. El CPR-CRec posee la temperatura mínima más baja del período (20,2°C), siendo el único espacio que cuenta con aire acondicionado. Las temperaturas más elevadas se presentan en las aulas, con valores que rondan entre 35°C (CPR-A4) y 35,8°C (CPR-A6); en ellas las medias diarias de temperatura son coincidentes y estuvieron el 54% del tiempo fuera de la zona de confort (Figura 8). Se observa una débil relación de la variación de temperaturas con el consumo eléctrico, cuyo promedio diario fue de 123 kWh/día, mientras que el de gas fue de 12 kWh/día.

En el período 3, correspondiente a las mediciones de otoño (Figura 9), los ambientes se encuentran en condiciones de confort los primeros 15 días del período. Las temperaturas promedio registran un mínimo de 23°C (CPR-Direcc) y un máximo de 24,3°C (CPR-Lab); mientras que las aulas oscilan levemente entre los 23,5°C (CPR-A6) y los 23,8°C (CPR-A4). Entre los días 10 y 14, la temperatura exterior descende y se detecta el funcionamiento de equipos para calefacción a partir del lunes 15, con un notable incremento del nivel de consumo de gas en días hábiles, que alcanza los 84 kWh/día. El consumo eléctrico medio diario tiene un comportamiento muy aleatorio, variando entre 51,3 kWh/día y 181,8 kWh/día, y disminuyendo levemente los fines de semana respecto al promedio (Figura 10).

CONFORT TÉRMICO EN AULAS

Los índices PMV y PDD fueron calculados en las horas de uso del edificio, de acuerdo a los datos de temperatura y humedad relativa obtenidos en el monitoreo en las aulas 2, 4 y 6, y considerando los datos detallados en la Tabla 5. Los valores de Clo, se definieron en base a la observación directa realizada en los días específicos. La velocidad del viento fue determinada según el ábaco Kukreja (Yáñez Parareda, 1982).

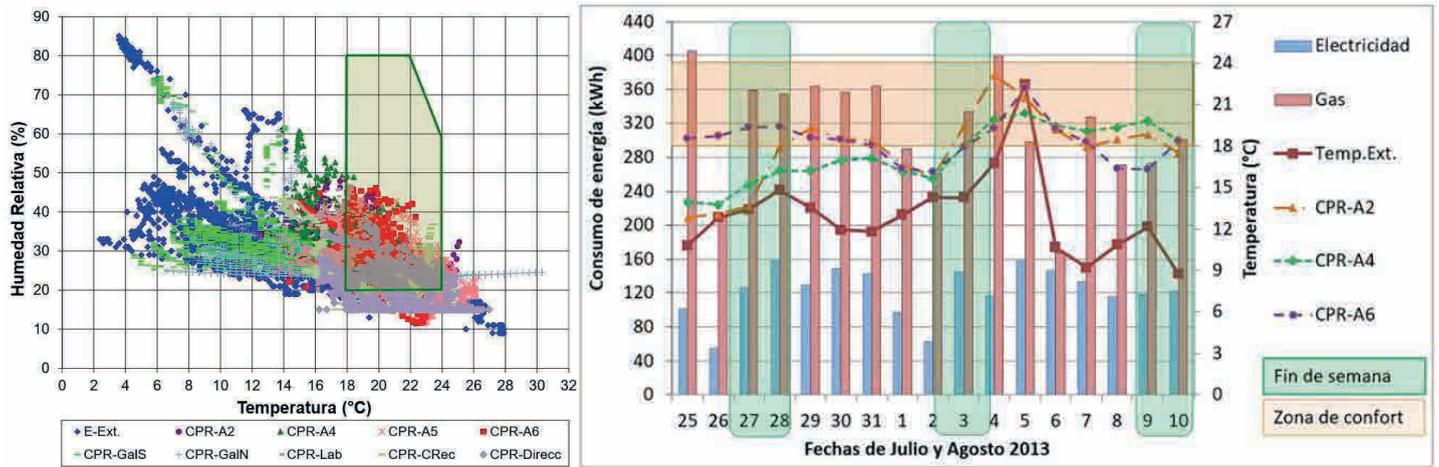


Figura 5. Dispersión higrotérmica en el período 1. Figura 6. Consumos diarios de energía y temperaturas medias. Fuente: Gráficos elaborados por las autoras.

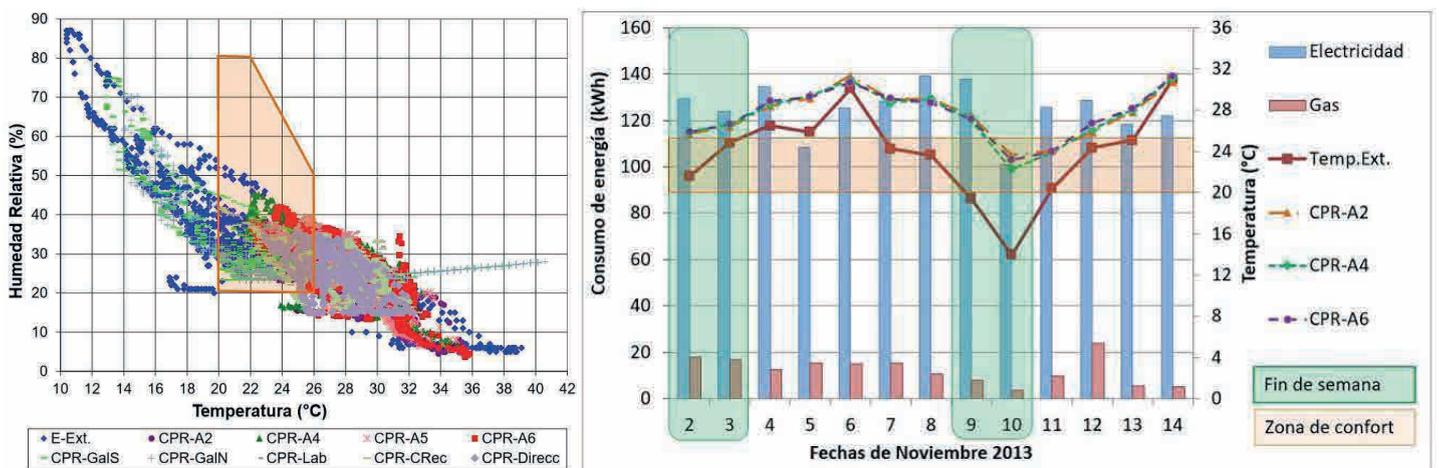


Figura 7. Dispersión higrotérmica en el Período 2. Figura 8. Consumos diarios de energía y temperaturas medias. Fuente: Gráficos elaborados por las autoras.

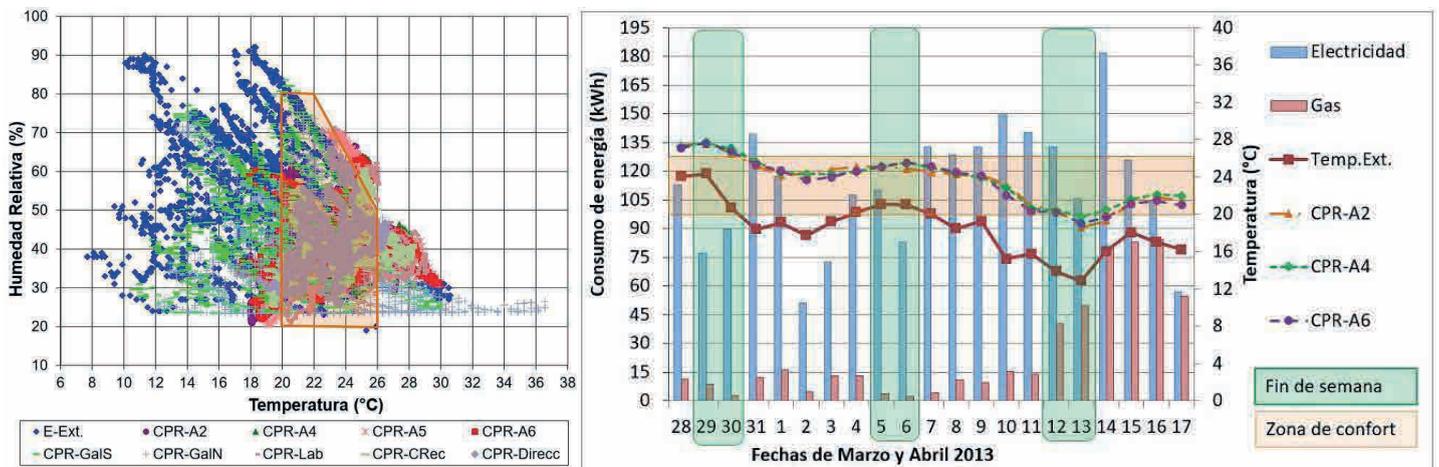


Figura 9. Dispersión higrotérmica en el período 3. Figura 10. Consumos diarios de energía y temperaturas medias. Fuente: Gráficos elaborados por las autoras.

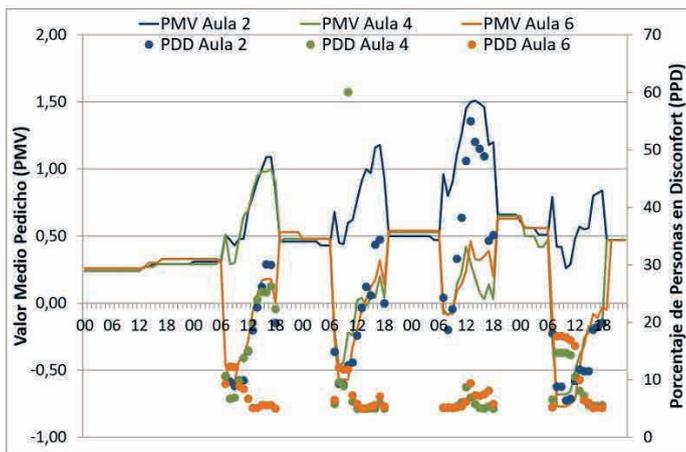
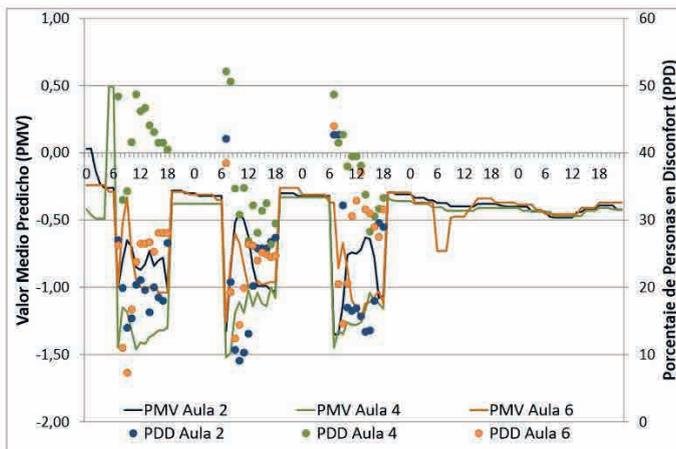


Figura 11. Índices PMV y PPD del 31/07/13 al 05/08/13. Figura 12. Índices PMV y PPD del 03/11/13 al 07/11/13. Fuente: Gráficos elaborados por las autoras.

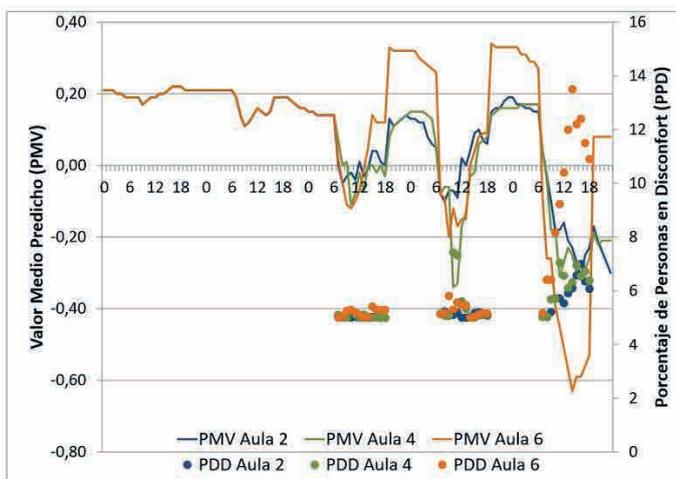


Figura 13. Índice de PMV y PPD del 06/04/14 al 10/04/14. Fuente: Gráfico elaborado por las autoras.

Para la estación fría, se tomó el período comprendido desde el miércoles 31 de julio hasta el lunes 5 de agosto de 2013 (Figura 11). El índice PMV, en este intervalo, oscila entre -0,50 y -1,50 en condiciones reales de uso, valores que indicarían un ambiente entre Ligeramente Fresco y Fresco (ISO 7730); situación que estaría presente en el 64% de las horas de clase en el aula 2. Las condiciones del aula 4 resultan ser las más desfavorables, con un ambiente que prevalece fresco la mayoría del tiempo, en acuerdo con la mayor exposición exterior de su envolvente vertical. El aula 6, con ventanas al sur y galería al norte, alcanza la valoración de un ambiente Térmicamente Aceptable un 36% de las horas de clase. El índice PDD del período oscila entre un 10% y un 50%. Los índices se corresponden con las temperaturas medias diarias, en las cuales prevalecen los registros ubicados por fuera de la zona de confort. Durante el fin de semana, sin cargas internas y con un valor más bajo de velocidad de viento, el índice PMV se mantiene en -0,50.

La encuesta para invierno, llevada a cabo el día 13 de agosto, permite conocer las expresiones de los usuarios en un momento específico de la jornada. El aula 2 fue encuestada a las 8:30h, cuando se registraba una temperatura interior de 15,9°C (HR 46%). Del total de 20 alumnos y una docente, el 43% indica tener frío, el 24% mucho frío y el 33% aparenta estar en confort térmico. La encuesta para el aula 4, se desarrolló a las 8:45h (T° 16,6°C y HR 49%), momento en que el 45% de los alumnos expresan tener frío, el 41%, mucho frío y únicamente el 14% aparenta estar en confort térmico. Los resultados obtenidos, en coincidencia con los datos calculados para PMV y PDD, la muestran como el aula con la mayor cantidad de usuarios en discomfort. Para el aula 6, con ventanas al sur y galería al norte, la situación cambia: a las 9:15h, con temperatura interior de 19,8°C (46% HR) de un total de 21 personas, el 38% indica tener frío y el 62% estar en confort térmico.

El intervalo para verano fue desde el domingo 3 al jueves 7 de noviembre de 2013 (Figura 12). El día lunes, el aula 6, alcanza un valor PMV mínimo de -0,50 que permite valorar el ambiente como Ligeramente Fresco, con un PPD = 10%; mientras que en las aulas 2 y 4 el PMV oscila entre 0,50 y 1,00 (Ligeramente Cálido y Cálido), con un valor de PPD en el aula 2 que llega al 30% entre las 16 y 17h. Durante el día miércoles se presenta un ascenso de la temperatura exterior, lo cual agudiza la situación térmica en el aula 2 con un ambiente Cálido y valores de PPD que trepan hasta el 55% a las 12h. Es evidente que la orientación norte más las cargas internas, por el uso propio de la actividad en la escuela, condicionan el comportamiento térmico del ambiente interior, a lo que se suma que esta aula no cuenta con ventiladores, porque se halla fuera de funcionamiento. Las aulas 4 y 6 muestran valores de PMV que indican Bienestar Térmico (Gonzalo, 2003), con un PPD inferior al 10%.

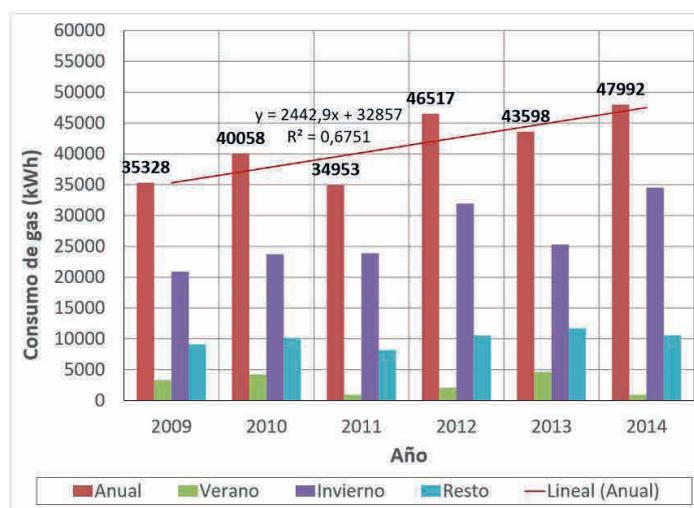
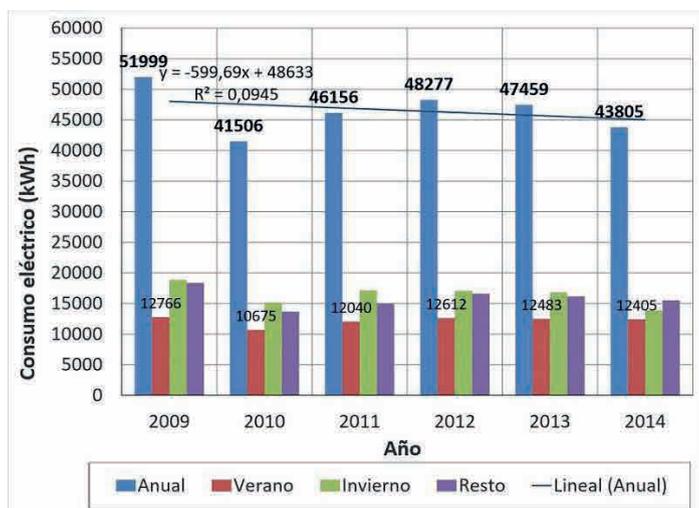


Figura 14. Electricidad; valores medios anuales y estacionales. Figura 15. Gas Natural; valores medios anuales y estacionales. Fuente: Gráficos elaborados por las autoras.

Para esta época, la encuesta se administró el 7/11/2013 en la mañana y el 13/11/2013 en la tarde. El aula 2 solo fue encuestada a las 11h, cuando la temperatura interior indicaba 26,8°C (21% HR); de 31 usuarios el 32% dice tener calor, y el 32% mucho calor y el 35% estar en confort térmico. La encuesta en el aula 4, a las 11:15h (T° 27°C y 22% HR), arroja el siguiente resultado: 53% de usuarios con calor y 47% en confort térmico; mientras que a las 15:45h (T° 28°C y 25% HR) el 21% indica tener calor, el 55% mucho calor y solo el 24% estar en confort térmico. En el aula 6 ocurre una situación similar: el 55% de los usuarios se encuentran en confort térmico a las 11:30h y solo el 28% a las 16:30h, con temperaturas interiores de 27,4°C y 29,7°C, respectivamente. Los resultados de las encuestas concuerdan con las estimaciones del PMV y PDD para el período.

Para otoño, los índices PMV y PDD fueron calculados entre el sábado 6 y el miércoles 10 de abril de 2014 (Figura 13). El día lunes, las tres aulas muestran índices parecidos durante las horas de clase que oscilan entre 0,18 y -0,18, indicando Bienestar Térmico con una temperatura promedio interior de 24,2°C, 20,2°C y 24,2°C para las Aulas 2, 4 y 6, respectivamente. Hacia el miércoles, acorde con un descenso de la temperatura en el exterior (mínima = 10°C), el PMV en el aula 6, con orientación hacia el sur, alcanza un valor de -0,60 durante las horas de clase, con un PDD de alrededor del 14%; el ambiente es Térmicamente Aceptable (Gonzalo, 2003).

CONSUMOS ENERGÉTICOS HISTÓRICOS

Se analizan los consumos energéticos históricos desde el primer año completo de actividad del establecimiento escolar (año 2009). Las gráficas muestran los valores medios anuales y estacionales de electricidad y gas expresados en kWh (Figuras 14 y 15). En ellas se observa que el invierno presenta una mayor demanda eléctrica, excepto en el año 2014 donde los consumos más elevados se manifiestan en la estación intermedia (marzo, abril, septiembre y octubre); también el uso de gas es significativamente mayor en los meses fríos, debido a que su principal utilización es para calefacción. La mayor demanda anual de gas se produce en 2014, con un valor de 47.992 kWh/año, equivalente a 5.759,06 m³.

El análisis estadístico muestra que para el consumo de energía eléctrica no existe una relación significativa entre las variables, mientras que para el gas la situación es otra: se evidencia un aumento del consumo a lo largo de los seis años, con un coeficiente de correlación de 0,821652, lo cual indica una relación estadísticamente fuerte.

El consumo total promedio para los 6 años analizados es de 87941 kWh/año, dando un valor de 88 kWh/m²/año; mientras que el promedio de gas es de 41408 kWh/año, con un valor de 41 kWh/m²/año. A nivel nacional, los valores obtenidos resultan inferiores a los publicados para edificios escolares en la provincia de La Pampa, cuyo clima es más riguroso (GD-18 = 1545°C/día); allí el consumo anual promedio para escuelas es de 105 kWh/m²/año (Filippín y De Rosa, 1996; 1997). Por otro lado, un estándar internacional (Sartori y Hestnes, 2006), surgido a partir del estudio de 60 casos residenciales y no residenciales, ubicados en nueve países

de distintos continentes, establece como índice de bajo consumo energético edilicio el valor de 70 kWh/m²/año destinado a calefacción y de 120 kWh/m²/año cuando se contempla el total de energía requerida. En consideración de estos valores, el edificio escolar evaluado se comporta eficientemente desde el punto de vista energético, pero sin llegar a alcanzar condiciones de confort aceptables en estaciones extremas de frío y calor, según el análisis higrotérmico y de confort desarrollado en este trabajo.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El consumo de gas asociado a la calefacción de ambientes presenta una tendencia creciente a lo largo de los años; con un promedio anual de 41408 kWh/año. La carga de calefacción anual (Q) calculada, según lo indica la Norma 11604, es de 77433 kWh/año; con estos datos se observa que el establecimiento consume aproximadamente un 54% de lo necesario para mantener una temperatura media de 18°C, lo cual coincide con los cálculos y las expresiones de confort para invierno, que indican que los usuarios no están en bienestar térmico.

En verano, la falta de equipos mecánicos como aires acondicionados, ocasiona que los locales presenten temperaturas elevadas que exceden por varios grados el umbral de confort. El consumo real de electricidad promedio en la época cálida es de 12163 kWh, con un índice por unidad de superficie de 12,14 kWh/m², mientras que el calculado en base a la Norma IRAM 11659 (2004 y 2007) asciende a 53,06 kWh/m², para un total de 250hs de refrigeración. El consumo real es incluso inferior al valor admisible recomendado por la Norma para la misma cantidad de horas (20,9 kWh/m²). Con estos datos se confirma la falta de confort térmico interior en los meses cálidos que provee el cálculo de PMV y PDD para el mes de noviembre.

CONCLUSIONES

La evaluación del comportamiento térmico a partir del análisis de datos teóricos (cálculo de índices PMV y PDD) y empíricos (monitoreos higrotérmicos y encuestas), permite concluir que el desempeño del edificio es deficiente en las estaciones frías y cálidas, con ambientes que escapan de la zona de confort la mayoría del tiempo. Esto se explica, tanto como consecuencia de una envolvente edilicia deficiente cuyos componentes no alcanzan los valores de transmitancia térmica recomendados por las normas IRAM, como por la falta de equipamiento de refrigeración en verano (aires acondicionados), y la discontinuidad en el uso de los calefactores en invierno. Lo último ocasiona que los ambientes pierdan calor durante la noche cuando los equipos se encuentran apagados y que no alcancen niveles de temperatura confortables en las horas de la mañana, previo al ingreso de alumnos.

El trabajo desarrollado ha logrado alcanzar sus objetivos y contribuye al avance del conocimiento, ya que permite

conocer la respuesta higrotérmica y energética de una tipología escolar ampliamente utilizada en la actualidad en la Provincia de San Juan, e identificar las características de diseño y constructivas que presentan problemas o disfunciones para el clima local.

Queda previsto para trabajos futuros elaborar propuestas de mejoramiento de la materialidad de la envolvente, que permitan cumplir con las recomendaciones de la normativa y llevar a cabo la simulación del edificio en régimen transitorio.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo forma parte de la Tesis doctoral de la Mag. Arq. María Guillermina Ré, del Doctorado en Arquitectura, Universidad de Mendoza, desarrollada bajo la dirección de la Dr. Celina Filippin y la co-dirección de la Dr. Irene Blasco Lucas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECKER, Rachel; GOLDBERGER, Itamar y PACIUK, Mónica. Improving energy performance of school buildings while ensuring indoor air quality ventilation. *Building and Environment*, 2007, n°42, pp. 3261-3276.

BLASCO LUCAS, Irene. *KG-MOD: Modelo de cálculo de K, G y Q*. San Juan, Argentina: Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPha), FAUD-UNSJ, 2013.

BOUTET, María Laura; HERNÁNDEZ, Alejandro; JACOBO, Guillermo; MARTINA, Pablo y CORACE, Juan José. Auditorías higrotérmicas y lumínicas de dos edificios escolares de nivel inicial de la ciudad de resistencia, en condiciones reales de ocupación. *AVERMA*, 2011, vol.15, pp. 05.29 - 05.36

FILIPPÍN, Celina y DE ROSA, Carlos. Análisis Morfológico, Tecnológico y Energético del Parque Educativo del Nivel Secundario de la Ciudad de Santa Rosa. En: *Actas de la XVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar, Mar del Plata*, 1996, pp. 02.25-02.28.

FILIPPÍN, Celina y DE ROSA, Carlos. Análisis Morfológico, Tecnológico y Energético del Parque Educativo del Nivel Inicial y Primario de la Ciudad de Santa Rosa. En: *Actas de la XVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar, Río Cuarto, Córdoba, Argentina*, 1997, vol.1 N°2, pp. 93-99.

GONZALO, Guillermo E. *Manual de Arquitectura Bioclimática*. Programa para el cálculo de situación de confort: PMV y PPD. CEEMA, IAA, FAU, UNT. Editorial Nobuko. 2003.

ISO 7730. *Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Switzerland, 2005.

KUCHEN, Ernesto. *Spot-Monitoring zum thermischen Komfort in Bürogebäude*. PhD Thesis. Technische Universität Braunschweig. Institut für Gebäude- und Solartechnik, Der Andere Verlag, Tönning, Alemania, 2008.

PONTORIERO, Domingo y HOESÉ, Liliana. *Banco de datos meteorológicos*. IEE-FI-UNSJ. 2013-2014.

PROGRAMA NACIONAL 700 ESCUELAS (PN700E). *Manual de proyecto. Herramientas para el Programa Nacional 700 escuelas*. Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación, 2004.

RE, Guillermina; BLASCO LUCAS, Irene y FILIPPÍN, Celina. Evaluación del comportamiento térmico de una escuela típica en la Ciudad de San Juan, Argentina. En: *Actas de la XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente*, 2015, vol. 3, pp. 05.35-05.46.

SAN JUAN, Gustavo; HOSES, Santiago; GONZALEZ, Daniel. Sensibilidad de variables edilicias y energéticas de tipologías edilicias escolares en dos situaciones regionales de nuestro país. *AVERMA*, 2000, vol.4, Art 07-29.

SANTAMOURIS, Matheos y ASIMAKOPOULOS, Dimosthénis (eds.) *Passive Cooling of Buildings*. James & James, 1996.

SARTORI, Igor y HESTNES, Anne Grete. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: a review article. *Energy and Buildings*, 2006, vol. 39, n° 3, pp. 249-257.

WARGOCKI, Pawel y WYON, David. Research report on effects of HVAC on student performance. *Revista ASHRAE*, 2006, n°48, pp. 22-28.

YÁÑEZ PARAREDA, Guillermo. *Energía Solar, edificación y clima*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid: 1982.



ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE SOBRECALENTAMIENTO Y DEL POTENCIAL DE REFRIGERACIÓN POR VENTILACIÓN NATURAL DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN CIUDADES COSTERAS DE CHILE

AN ESTIMATE OF OVERHEATING RISK AND COOLING POTENTIAL USING NATURAL VENTILATION IN SINGLE-FAMILY DWELLINGS IN COASTAL CHILEAN CITIES

MASSIMO PALME
Universidad Católica del Norte
Antofagasta, Chile
mpalme@ucn.cl

CLAUDIO CARRASCO
Universidad de Valparaíso
Valparaíso, Chile
claudio.carrasco@uv.cl

MIGUEL ÁNGEL GALVEZ
Universidad Técnica Federico Santamaría
Valparaíso, Chile
miguelangel.galvezhuerta@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo presenta una propuesta de evaluación de la demanda de refrigeración y de la capacidad de refrigeración pasiva por ventilación natural en viviendas sociales. La propuesta se fundamenta en la EN ISO 13790:2008 que utiliza una metodología casi estacionaria de cálculo. Se evalúa una vivienda con ventanas de doble batiente en las dos fachadas, en las diferentes orientaciones N-S, E-O, NO-SE y NE-SO. Se suponen dos posibles caracterizaciones del interior: poco conectado y muy conectado. Los emplazamientos considerados presentan una variedad climática importante, desde los desiertos del norte hasta los climas con variabilidad estacional más marcada del centro-sur del País. Las ciudades consideradas en el estudio son: Arica, Iquique, Antofagasta, La Serena, Valparaíso, Concepción, Valdivia y Puerto Montt. Los resultados muestran la presencia de demanda de refrigeración en la mayoría de los emplazamientos analizados y una capacidad de evacuar el calor por ventilación natural media variable entre el 20% y el 80% de esta demanda, demostrando la importancia de la utilización de las brisas para la refrigeración de edificio y ciudades del País.

Palabras clave

ventilación, refrigeración, viviendas

ABSTRACT

This article presents a proposal to evaluate cooling demand and passive cooling capacity using natural ventilation in social housing. The proposal is founded on EN ISO 13790:2008, which uses a semi-dynamic calculation method. The dwellings evaluated have double casement windows in the two main facades, which are oriented N-S, E-W, NW-SE and NE-SW. Two possible internal distributions were tested: poorly-connected and well-connected. The locations evaluated have a variety of climates: from the northern deserts to the weather of central and southern Chile with more defined seasonal variability. The cities included in the study are: Arica, Iquique, Antofagasta, La Serena, Valparaíso, Concepción, Valdivia and Puerto Montt. The results show that cooling demand is present in the majority of the locations analyzed and the average capacity for heat evacuation by natural ventilation is between 20% and 80% of this demand, thereby demonstrating the usefulness of breezes for building and city cooling in Chile.

Keywords

ventilation, cooling, houses

INTRODUCCIÓN

En los últimos años a lo largo del mundo el fenómeno del calentamiento global, asociado con la creciente urbanización del territorio y el relacionado efecto isla de calor, ha generado un aumento sensible de las temperaturas estivales y consecuentemente ha aparecido una creciente demanda de refrigeración en edificios de todo tipo, (Santamouris et al. 2015, Bustamante et al. 2011, Kolokotroni et al. 2006). Chile, con su larga costa sobre el Océano Pacífico, tiene el privilegio de poder utilizar las brisas para la evacuación de calor en las ciudades que se asoman al mar. Por el contrario, la planificación urbana y las normativas sobre eficiencia energética no consideran de manera formal ni el sobrecalentamiento de los edificios residenciales, ni la ventilación natural como estrategia de refrigeración pasiva (Palme 2014, Palme y Vásquez 2015). Las políticas energéticas actuales buscan la reducción drástica de las emisiones de gases de efecto invernadero antes de 2020, por lo tanto, desde 2008 se ha venido desarrollando una Reglamentación Térmica (MINVU, 2008) que primariamente se concentró en la reducción de la demanda de calefacción de las residencias, fijando los valores máximos admisibles de las transmitancias térmicas de paredes, techos y suelos ventilados. A partir de 2013, con la introducción del Sistema Nacional de Calificación Energética, se hizo siempre más evidente la limitación de este enfoque, surgiendo la necesidad de incorporar tanto en la Reglamentación como en el Sistema de Calificación conceptos asociados al sobrecalentamiento, como el tamaño y orientación de las ventanas, su protección solar, la inercia térmica y la ventilación natural como estrategias de refrigeración pasiva. En perspectiva futura, la mitigación de las emisiones podría resultar influida más por la reducción de la demanda de refrigeración que no por la reducción de la demanda de calefacción. Políticas energéticas de hoy en día, podrían entonces tener efectos hasta negativos en el futuro (Palme, 2015) y hay investigadores que están generando la propuesta de un nuevo concepto, la "adaptación" (Galderisi et al. 2016), considerando que las medidas de mitigación deberán ser proyectadas en un mundo ya adaptado al cambio global que aparece inevitable. Considerar la demanda de refrigeración como un problema fundamental para las viviendas no significa incentivar la utilización de sistemas de refrigeración activos, por eficientes que estos sean. La primera medida debe mirar a la reducción de la necesidad de enfriar, a través de una buena construcción en términos de adecuada orientación, inercia térmica, protección solar, porcentaje de superficies transparentes, etcétera. En seguida, hace falta estimar las posibilidades de evacuar el calor residual mediante sistemas naturales, como es la ventilación, sea transversal (gobernada por viento) o vertical (gobernada por diferencia de temperatura). Este trabajo se enfoca en la ventilación eólica o gobernada por viento, que es un recurso muy importante en Chile. Estudios realizados en zonas costeras de Norte América, como la ciudad de Los Ángeles, sugieren que sería posible resolver buena parte del problema asociado al calentamiento global a través del aumento de la brisa debido a la mayor diferencia de temperatura entre mar y tierra (Li et al. 2013, Lebassi-Habtezion et al. 2011). El objetivo principal de la investigación es determinar la

cantidad de calor en exceso que es necesario evacuar de las viviendas analizadas y el potencial de hacerlo utilizando la ventilación natural transversal gobernada por viento. Para ello se seleccionaron dos tipologías de vivienda económica, una "bien conectada" y otra "poco conectada", para representar diferentes condiciones de distribución del aire en el interior. Estas viviendas se evaluaron en 4 orientaciones principales: N-S, E-O, NE-SO y NO-SE en diferentes ciudades costeras de Chile: Arica, Iquique, Antofagasta, La Serena, Valparaíso, Concepción, Valdivia y Puerto Montt. La metodología de cálculo utilizada se fundamenta en la ISO 13790:2008 y en estudios previos de Grosso (2011) para otros emplazamientos climáticos. Los resultados esperados son la presencia de calor en exceso en todos los casos analizados durante la temporada de verano (debidos a ganancias solares y a calor generado en el interior de las viviendas) y la posibilidad de evacuar un buen porcentaje de este calor a través de la ventilación natural transversal.

ESTADO DEL ARTE

Las problemáticas del sobrecalentamiento, especialmente relacionadas con la introducción de códigos normativos de eficiencia energética en los edificios, han sido investigadas en diferentes países, generando interés en la doble relación que se genera entre edificio y entorno. Por ejemplo en un estudio se releva el sobrecalentamiento en edificios nuevos de Gran Bretaña, supuestamente diseñados con las mejores reglas de la arquitectura eficiente (Toledo, Crooper y Wright, 2016). De la misma forma, Palme et al. (2010) indican que edificios inteligentes y teóricamente a energía casi cero situados en las montañas del Pirineo catalán tienen en realidad una demanda de refrigeración incluso en meses invernales. En la misma línea, otro estudio identifica en la vivienda PassiveHouse un riesgo de sobrecalentamiento en verano (Macleod, Hopfe y Kwan, 2013), mientras que un estudio considera que el código normativo de Portugal necesita ser revisado a la luz de los cambios climáticos previstos (Oliveira, Camelo y Gonçalves, 2011). Por su parte Holmes y Hacker (2007), identifican en la relación entre cambio climático, confort térmico y demanda de energía uno de los desafíos principales para la arquitectura del siglo XXI. La consideración de la ventilación natural como estrategia de refrigeración pasiva no es nueva, siendo desarrollada desde la antigüedad como una de las típicas soluciones pasivas en la arquitectura de las zonas mediterráneas, especialmente de la costa africana. En tiempos muy recientes, la introducción de códigos de construcción sustentable, ha visto muy limitada la incorporación de metodologías de cálculo de la ventilación natural. La razón principal de esta limitada incorporación es la dificultad de efectuar un cálculo estimativo sin necesitar de un software complejo que pueda resolver de manera iterativa ecuaciones de dinámica de fluidos. La verificación de los códigos normativos debe ser sencilla, para poder permitir a técnicos medianamente especializados de poder efectuar las revisiones del caso sobre los certificados entregados por los proyectistas.

METODOLOGÍA

La metodología propuesta se basa en la norma EN ISO 13790:2008, revisada en 2012, sobre el cálculo de las prestaciones térmicas de los edificios. A la hora de estimar la demanda de refrigeración se toman en consideración las ganancias internas y los aportes solares a través de superficies opacas y transparentes durante un período determinado: mes a mes o por el año completo. Los datos necesarios para efectuar la evaluación de las ganancias solares son: las superficies de cada elemento de la envolvente; la radiación solar total incidente sobre cada uno de los elementos para el periodo considerado, en su defecto, se puede obtener multiplicando el valor medio diario por las horas de insolación y por los días del período considerados, los coeficientes de absorción solar de las superficies opacas; los coeficientes de intercambio superficial exterior de los elementos opacos; las transmitancias térmicas de la envolvente los factores de marco de las ventanas; los factores solares de los vidrios; los factores de accesibilidad solar de las ventanas (entorno); los factores de corrección por la presencia de sistemas móviles de protección. El cálculo se realiza de esa forma:

$$GSO = R \times S \times \alpha \times R_{se} \times U \quad (1)$$

Para los elementos opacos, en donde:

1. GSO es la ganancia solar del elemento opaco (J)
2. R es la radiación total del periodo incidente sobre el elemento (J/m²)
3. S es la superficie del elemento (m²)
4. α es el coeficiente de absorción solar del elemento (0-1)
5. R_{se} es la resistencia superficial exterior del elemento (m²K/W)
6. U es la transmitancia del elemento (W/m²K)

Mientras que para los elementos transparentes hay:

$$GST = R \times S \times f_m \times f_{sv} \times f_{pm} \times f_a \quad (2)$$

En donde:

1. GST es la ganancia solar del elemento transparente (J)
2. R es la radiación total del período incidente sobre el elemento (J/m²)
3. S es la superficie del elemento
4. f_m es el factor de marco del elemento (0-1)
5. f_{sv} es el factor solar del vidrio (0-1)
6. f_{pm} es el factor de protección móvil (0-1)
7. f_a es la accesibilidad solar debida a orientación, inclinación y sombras (0-1)

Las ganancias internas se calculan como:

$$GI = \sum P \times S \times t \quad (3)$$

En donde:

1. GI es la ganancia interna (J)
2. P es la potencia de cada fuente de calor – personas, aparatos, etc. (W/m²)
3. S es la superficie de suelo de la vivienda (m²)
4. t es el período considerado (s)

La cantidad de calor ganado total (GT) en el período será entonces:

$$GT = GI + \sum GSO + \sum GST \quad (4)$$

Resultando como la suma de las ganancias internas y de los aportes solares a través de cada uno de los elementos. Parte de este calor, se pierde a través de las paredes y otra parte es eliminada por ventilación natural. Para obtener el potencial de refrigeración por ventilación natural, se sigue este procedimiento: se estima el calor que es necesario evacuar para mantener la temperatura interior por debajo de los 26°C, sin considerar la ventilación, en condiciones semi-dinámicas (la inercia se evalúa con un factor de utilización de las pérdidas); luego se repite el procedimiento para el caso con la ventilación, cuya eficacia depende de numerosos parámetros, entre ellos las propiedades del fluido (calor específico y densidad) y la disposición y tipologías de las ventanas y de las aberturas intermedias entre los locales, que determinan (juntamente con la velocidad y dirección del fluido) el caudal que pasa a través de la vivienda. No obstante, la situación real es más compleja debido a la variabilidad de dirección y velocidad del fluido, y sobre todo al hecho que diferentes disposiciones de ventanas generarán una distribución espacial única del mismo fluido. Luego, entrar en cálculos de dinámica de fluidos sería muy complejo para una función estimativa del potencial de refrigeración, que si llegara a ser considerada para la calificación energética deberá ser necesariamente lo más sencilla posible para poder permitir a un usuario medianamente preparado la inserción de los datos. Para tal finalidad, se reduce la vivienda a una única zona térmica, con un único caudal de aire pasante determinado sobre la base de 5 coeficientes representativos, dependientes de la geometría y de la tipología de las aberturas además que de la direccionalidad y velocidad del fluido. Estos coeficientes son (Grosso, 2011; Heiselberg y Sandberg, 2001):

1. Un coeficiente de descarga $C_{d,e}$ que depende de la tipología y del tamaño de la ventana expuesta al viento
2. Un coeficiente de descarga $C_{d,s}$ que depende de la tipología y del tamaño de la ventana protegida del viento
3. Un coeficiente de paso intermedio C_i entre locales que depende de la ubicación y del tamaño de las conexiones interiores
4. Un coeficiente de presión de entrada $C_{p,e}$ que depen-

de de la incidencia del viento sobre la ventana de entrada y de la geometría del edificio (h es la altura, l el largo de la fachada principal, w el largo de fachada secundaria).

5. Un coeficiente de presión de salida $C_{p,s}$ que depende de la ubicación del vano de salida respecto al campo de viento y de la geometría del edificio.

La fórmula que permite la obtención del caudal (Grosso, 2011) es la siguiente (S son las superficies de los vanos y v es la velocidad del viento):

$$q = v \times \sqrt{\frac{c_{p,e} - c_{p,s}}{\frac{1}{c_{d,e}^2 \times S_e^2} + \frac{1}{c_l^2 \times l^2} + \frac{1}{c_{d,s}^2 \times S_s^2}}} \quad (5)$$

Una vez obtenido el caudal de ventilación, es posible calcular la demanda de refrigeración en los dos casos (con y sin ventilación). Esto se hace de la siguiente manera:

$$CR = GT - (26 - T_m) \times H_t \times \eta \quad (6)$$

Para el caso sin ventilación y

$$CR = GT - (26 - T_m) \times (H_t + H_v) \times \eta \quad (7)$$

Para el caso con ventilación, en donde

1. CR es el calor que hay que evacuar (J)
2. GT son las ganancias totales (J)
3. T_m es la temperatura media diaria del período (°C)
4. H_t es el calor perdido por las paredes por cada grado (J/°C) en el período
5. H_v es el calor perdido por ventilación por cada grado (J/°C) en el período
6. η es el factor de utilización de las pérdidas (adimensional) que toma en cuenta los fenómenos dinámicos y depende de la capacidad térmica del edificio (es diferente en los dos casos, sin ventilación y con ventilación).

El cálculo de H_t se hace con la ecuación:

$$H_t = t \times \sum U_i \times S_i \quad (8)$$

En donde U_i (W/m²K) y S_i (m²) son las transmitancias y superficies de cada elemento de envolvente y t (s) es el período del cálculo. Los efectos de puentes térmicos se desprecian.

H_v se calcula con la siguiente:

$$H_v = t \times \delta \times c_p \times q \quad (9)$$

En donde t (s) es el período, c_p (J/kgK) es el calor específico, q (m³/s) es el caudal y δ (kg/m³) es la densidad del fluido. En lo que respecta al factor de utilización de las pérdidas, este se calcula de la forma siguiente:

$$\eta = (1 - \gamma^{-a_c}) / (1 - \gamma^{-(a_c+1)}) \quad (10)$$

En donde:

1. γ es la relación entre las ganancias y las pérdidas térmicas por transmisión
2. a_c es un parámetro que se obtiene de esa forma:

$$a_c = a_{c,0} + \frac{\tau_c}{\tau_{c,0}} - k \times \frac{A_w}{A_f} \quad (11)$$

En donde a su vez:

1. τ_c es la constante de tiempo en horas definida por

$$\tau_c = t \times \frac{C}{H_t + H_v} \quad (12)$$

Con C capacidad térmica en J/K

$$C = \sum_i \sum_j \rho_{i,j} \times c_{i,j} \times e_{i,j} \times S_j \quad (13)$$

En donde hay que sumar sobre cada capa de material i para cada elemento j de la vivienda y ρ , c, e y S son la densidad, el calor específico, el espesor de la capa y la superficie del elemento.

1. A_w y A_f son las superficies de ventana y pavimento respectivamente
2. k, $a_{c,0}$ y $\tau_{c,0}$ son constantes que se pueden asumir iguales a 13, 8.1 y 17 h respectivamente.

Para tomar en cuenta solamente la ventilación diurna, se puede utilizar la temperatura media de todo el día en el cálculo de las pérdidas por transmisión y la temperatura media entre las 8 y las 20 horas para el cálculo de las pérdidas por ventilación. Esta es la opción tomada en este trabajo, ya que las condiciones de ventilación nocturna podrían ser inaplicables en edificios de tipo residencial, ocupados en la noche. En este trabajo, se evalúa el desempeño de verano de una vivienda con ventanas de doble batiente en las dos fachadas (total 5 m² en cada fachada), en las diferentes orientaciones N-S, E-O, NO-SE y NE-SO. El viento se considera constante desde el Sur-Oeste con una velocidad de 1 m/s. En el cálculo del coeficiente interior, se suponen dos posibles caracterizaciones del interior: poco conectado y bien conectado, representando diferentes posibles distribuciones de las aberturas. Los aportes internos se consideran iguales a 25 W/m² y las propiedades de los cerramientos cumplen de forma estricta la Reglamentación Térmica MINVU en cuanto a transmitancias térmicas de paredes y techos. Esto significa considerar, como representativos, muros de bloque de hormigón en los casos de Arica, Antofagasta, Iquique y La Serena, mientras que para las ciudades de Valparaíso,

Tabla 1: propiedades térmicas de los cerramientos

	U muro (W/m ² K)	M muro (kJ/m ² K)	U techo (W/m ² K)	M techo (kJ/m ² K)	U ventana (W/m ² K)	M interior (kJ/m ² K)
Arica	4	360	0,84	40,5	5,8	90
Iquique	4	360	0,84	40,5	5,8	90
Antofagasta	4	360	0,84	40,5	5,8	90
La Serena	4	360	0,84	40,5	5,8	90
Valparaíso	3	365,4	0,6	54	2,4	90
Concepción	1,7	381,6	0,38	67,5	2,4	107
Valdivia	1,6	387	0,33	67,5	2,4	107
Puerto Montt	1,1	392,4	0,28	81	2,4	107

Tabla 2: dimensiones de la vivienda

	H (m)	L (m)	W (m)	S (m ²)	H/W	L/W
Casa unifamiliar	3.5	10	7	70	0.5	1.43

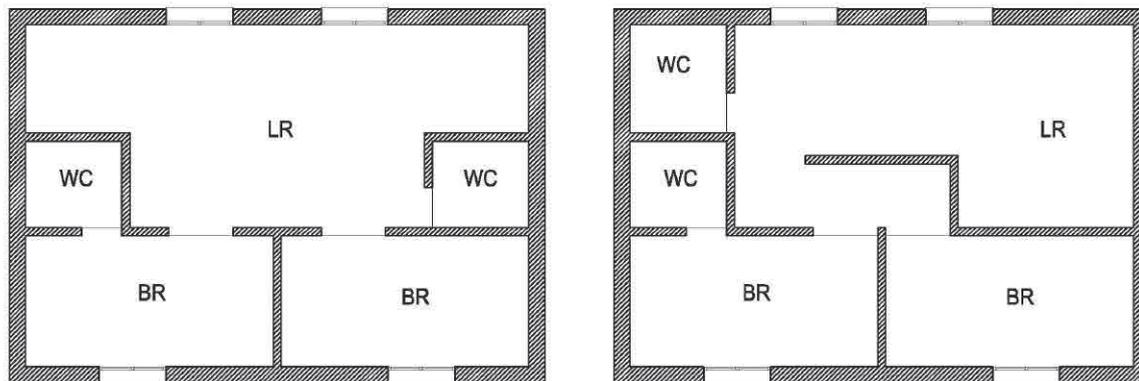


Figura 1: vivienda bien conectada (izquierda) y poco conectada (derecha)

Concepción, Valdivia y Puerto Montt la composición considera bloque de hormigón o ladrillos y materiales aislantes con espesores variables según el requerimiento normativo. Los techos son de material liviano con aislamientos tales de garantizar el cumplimiento normativo, variables entre 30 y 120 mm. El interior se caracteriza en términos de una capacidad térmica total que contribuye al desfase temporal del sobrecalentamiento. Las ventanas se consideran de vidrio sencillo para Arica, Iquique, Antofagasta y La Serena y de DVH para Valparaíso, Concepción, Valdivia y Puerto Montt. El factor solar del vidrio es en todos los casos igual a 0,85 y se considera una corrección por dispositivos de sombra móvil del 50%. En la Tabla 1 se resumen los valores de las propiedades térmicas consideradas, transmitancias y masas térmicas totales de los cerramientos externos y del interior.

En la Tabla 2 se muestran los valores de las relaciones entre altura, largo y ancho de las casas, utilizados en el cálculo de los coeficientes de presión. En la Tabla 3 se muestran los valores de los coeficientes de presión de entrada y salida según orientación, de los coeficientes de carga y descarga para las ventanas y de los coeficientes del interior para los dos casos. También se muestra el caudal de aire para la velocidad del viento de 1 m/s.

Los datos climáticos necesarios para el análisis son las temperaturas medias del período sobre las 24 horas y entre 8 y 20, además de las irradiaciones en todas las superficies. La Tabla 4 resume los valores obtenidos con Meteonorm (temperaturas y radiación horizontal) y utilizando Trnsys para el cálculo de las irradiaciones en fachada.

Tabla 3: valores de los coeficientes para el cálculo del flujo de aire

	C_{pe}	C_{ps}	C_{de}	C_{ds}	C_i (mc)	Q (mc)	C_i (pc)	Q (pc)
Casa 45° respecto al viento	0.10	-0.35	0.70	1.00	0.80	0.94	0.30	0.39
Casa 90° respecto al viento	0.70	-0.20	0.70	1.00	0.80	1.3	0.30	0.56
Casa 0° respecto al viento	-0.50	-0.50	0.70	1.00	0.80	0	0.30	0

Tabla 4: valores de radiación (totales) y temperatura (medias) para el período considerado

	H(MJ/m ²)	N(MJ/m ²)	S(MJ/m ²)	E(MJ/m ²)	O(MJ/m ²)	T _m (°C)	T _{m8-20h}
Arica	2040	740	704	1210	1110	22.6	24.9
Iquique	2125	775	675	1206	1180	21.9	23.4
Antofagasta	2160	817	625	1240	1170	20.1	22.8
La Serena	1880	882	629	1170	1040	17.3	20.3
Valparaíso	1670	835	599	1030	958	21.5	25.2
Concepción	1877	980	591	1134	1128	16.2	19.0
Valdivia	1650	950	582	1021	1017	15.2	18.3
P. Montt	1547	931	545	970	960	13.7	15.7

Tabla 5: valores de radiación (totales) y temperatura (medias) para el período considerado

	Ganancia solar (MJ)	Necesidad refrigeración (kWh/m ²)	Necesidad refrigeración con ventilación (kWh/m ²)	Ahorro energético
ARICA				
Vivienda N-S (mc)	11722	49	33	35%
Vivienda E-O (mc)	13435	56	38	32%
Vivienda NE-SO (mc)	12578	53	29	45%
Vivienda NO-SE (mc)	12578	53	53	0%
Vivienda N-S (pc)	11722	49	42	15%
Vivienda E-O (pc)	13435	56	49	13%
Vivienda NE-SO (pc)	12578	53	42	20%
Vivienda NO-SE (pc)	12578	53	53	0%
IQUIQUE				
Vivienda N-S (mc)	11990	40	11	73%
Vivienda E-O (mc)	13821	47	14	69%
Vivienda NE-SO (mc)	12918	44	7	84%

Vivienda NO-SE (mc)	12892	44	44	0%
Vivienda N-S (pc)	11990	40	25	39%
Vivienda E-O (pc)	13821	47	31	35%
Vivienda NE-SO (pc)	12918	44	22	49%
Vivienda NO-SE (pc)	12892	44	44	0%
ANTOFAGASTA				
Vivienda N-S (mc)	12061	18	2.8	84%
Vivienda E-O (mc)	13955	24	4.4	81%
Vivienda NE-SO (mc)	13008	21	1.8	91%
Vivienda NO-SE (mc)	13008	21	21	0%
Vivienda N-S (pc)	12061	18	8	54%
Vivienda E-O (pc)	13955	24	12	50%
Vivienda NE-SO (pc)	13008	21	7	65%
Vivienda NO-SE (pc)	13008	21	21	0%
LA SERENA				
Vivienda N-S (mc)	11494	2.5	0.17	93%
Vivienda E-O (mc)	12861	3.7	0.25	93%
Vivienda NE-SO (mc)	12177	3.1	0.1	97%
Vivienda NO-SE (mc)	12177	3.1	3.1	0%
Vivienda N-S (pc)	11494	2.5	0.73	71%
Vivienda E-O (pc)	12861	3.7	1.1	70%
Vivienda NE-SO (pc)	12177	3.1	0.56	82%
Vivienda NO-SE (pc)	12177	3.1	3.1	0%
VALPARAÍSO				
Vivienda N-S (mc)	8406	40	27	31%
Vivienda E-O (mc)	9455	44	31	29%
Vivienda NE-SO (mc)	8931	42	24	40%
Vivienda NO-SE (mc)	8931	42	31	0%
Vivienda N-S (pc)	8406	40	34	13%
Vivienda E-O (pc)	9455	44	38	12%
Vivienda NE-SO (pc)	8931	42	34	18%
Vivienda NO-SE (pc)	8931	42	31	0%
CONCEPCIÓN				
Vivienda N-S (mc)	6628	18	0.1	99%
Vivienda E-O (mc)	7878	23	0.2	99%
Vivienda NE-SO (mc)	7254	20	0	100%
Vivienda NO-SE (mc)	7253	20	20	0%
Vivienda N-S (pc)	6628	18	1.6	91%
Vivienda E-O (pc)	7878	23	2.4	90%
Vivienda NE-SO (pc)	7254	20	0.8	96%
Vivienda NO-SE (pc)	7253	20	20	0%

VALDIVIA				
Vivienda N-S (mc)	5900	14	0	100%
Vivienda E-O (mc)	6800	17	0	100%
Vivienda NE-SO (mc)	6257	15	0	100%
Vivienda NO-SE (mc)	6257	15	15	0%
Vivienda N-S (pc)	5900	14	0.8	94%
Vivienda E-O (pc)	6800	17	1.1	93%
Vivienda NE-SO (pc)	6257	15	0.4	97%
Vivienda NO-SE (pc)	6257	15	15	0%
PUERTO MONTT				
Vivienda N-S (mc)	4842	18	0	100%
Vivienda E-O (mc)	5646	21	0	100%
Vivienda NE-SO (mc)	5244	20	0	100%
Vivienda NO-SE (mc)	5244	20	20	0%
Vivienda N-S (pc)	4842	18	0.3	98%
Vivienda E-O (pc)	5646	21	0.4	98%
Vivienda NE-SO (pc)	5244	20	0.1	99%
Vivienda NO-SE (pc)	5244	20	20	0%

RESULTADOS

La Tabla 5 muestra los resultados detallados del análisis: ganancias solares, necesidad de refrigeración con y sin ventilación y ahorro energético obtenido, para cada caso evaluado.

La figura 2 muestra la demanda de refrigeración de una vivienda promedio en las ciudades estudiadas y la misma demanda considerando la ventilación natural.

Figura 2: potencial de refrigeración por ventilación

Como se puede apreciar, el potencial de refrigeración por ventilación natural es del orden del 20% en los casos de Arica y Valparaíso, del 40-50% en los casos de Antofagasta e Iquique, del 60-70% en los demás casos. Cabe destacar que las demandas de refrigeración son bastantes elevadas, menos que en el caso de La Serena. Esto se debe a la combinación del emplazamiento climático y de la materialidad de la construcción. A pesar de tener menos aportes solares, las ciudades del centro-sur tienen sobrecalentamiento debido a los aportes internos que no se evacúan por las paredes y techos, que tienen valores de transmitancia menores.

CONCLUSIONES

En este artículo se han presentado los resultados de la aplicación en una sencilla y rápida metodología EN ISO 13790:2008 para estimar la demanda de refrigeración y el potencial de refrigeración por ventilación natural (dirigida por viento) en viviendas unifamiliares de diferentes ciudades costeras de Chile. Los resultados muestran la presencia

de demanda de refrigeración en casi todos los emplazamientos estudiados, debido a los aportes internos y a las ganancias solares, además que al cumplimiento estricto de la Reglamentación Térmica del Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Se detecta una esperada capacidad de evacuación de calor por ventilación natural, que llega a ser casi del 100% en las ciudades del sur, en donde el aire es más fresco incluso en verano, siempre y cuando las viviendas se encuentren bien orientadas. En algunos emplazamientos, con temperaturas diurnas mayores, como es el caso de Arica y de Valparaíso, la evacuación de calor es más limitada y los factores de distribución interna de las viviendas empiezan a cobrar sentido. Por ejemplo, en el caso de Valparaíso, una vivienda perfectamente orientada y con buena conexión interior tiene una posibilidad de evacuar el calor en un 40%, mientras que si está orientada a 45° y poco conectada solamente del 12%. Estos resultados confirman las hipótesis iniciales: las casas construidas siguiendo los estándares actuales están en riesgo de sobrecalentamiento durante la temporada de verano, sin embargo este riesgo puede ser notablemente disminuido utilizando la ventilación natural transversal dirigida por viento. La sencillez de un cálculo como el realizado permitiría además la incorporación en las herramientas para la calificación energética de las viviendas, contribuyendo a un avance importante hacia una construcción más sustentable. Trabajos futuros verán la incorporación de la ventilación vertical por efecto de la diferencia de temperatura igualmente importante en la estimación del potencial de refrigeración, y la comprobación de los resultados utilizando modelos de cálculo dinámicos más precisos. Una aplicación muy importante será además la evaluación a diferentes escalas de las brisas disponibles en determinados sectores urbanos y de la capacidad de evacuación de calor que pueden generar. Esto abre un campo nuevo de investigación, en donde la planificación urbana

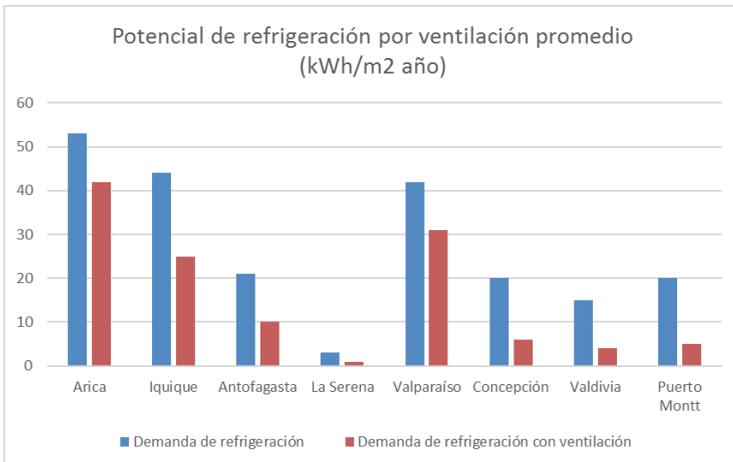


Figura 2: potencial de refrigeración por ventilación

y la eficiencia energética de los edificios comienzan a dialogar. La disponibilidad de las brisas, que aquí se consideran fijas en dirección y velocidad, depende en realidad de diferentes parámetros de conformación urbana, como queda evidenciado por diferentes estudios (Santamouris y Wouters 2006, Ng 2009, Ghiaus et al. 2006). Un enfoque que considere además los cambios en el clima urbano provocado por la urbanización creciente y por el calentamiento global será uno de los campos de desarrollo más importantes de los próximos años en el área de la arquitectura y el urbanismo sustentable.

REFERENCIAS

BUSTAMANTE, Waldo, DE HERDE, André, ENCINAS, Felipe. Analysis of office building thermal performance in different districts of the Metropolitan Area, Chile. *Revista de la Construcción*, vol. 10, (n° 1): pp. 64-77, April 2011.

KOLOKOTRONI, Maria, GIANNITSTARIS, Ioannis, WATKINS, Richard. The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies. *Solar Energy*, vol. 80, (n° 4): pp. 383-392, April 2006.

GALDERISI, Anna, MAZZEO, Giuseppe, PINTO, Fulvia. Cities Dealing with Energy Issues and Climate-Related Impacts: Approaches, Strategies and Tools for a Sustainable Urban Development. *En: Smart Energy in the Smart City. Urban Planning for a Sustainable Future*. Springer Ed. 2016, pp.199-217

GHIAUS, Christian, ALLARD, Francis, SANTAMOURIS, Matheos, GEORGIAKIS, Constatinus, NICOL, Fergus. Urban environment influence on natural ventilation potential. *Building and Environment* 2006, vol. 4, (n° 1): p. 395-406.2006.

GROSSO, Mario. *Il raffrescamento passivo degli edifici*. Maggioli Ed. Milano 2011

HOLMES, Michael, HACKER, Jacob. Climate change, thermal comfort and energy: Meeting the design challenges of the 21th Century, *Energy and Buildings* 2007, vol. 39, (n° 7): p. 802-814.2007.

HEISLEBERG, Per, SANDBERG, Mats. Evaluation of Discharge Coefficients for Window Openings in Wind Driven Natural Ventilation. *International Journal of Ventilation*, vol.5, (n° 1): pp. 43-52.March 2016.

ISO 13790/2008 (rev. 2012) Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling.

LEBASSI-HABTEZION, Bereket, GONZÁLEZ, Jorge, BORNSTEIN, Robert. Modeled large-scale warming impacts on summer California coastal cooling trends. *Journal of Geophysical Research*, vol. 116, (n° D20): pp. 1-11, 2011.

LI, Haiquin. KANAMITSU Masao, HONG, Song-You, YOSHIMURA, Kei, CAYAN, Daniel, MISRA, Vasubandhu, SUN, Liquiang. Projected climate change scenario over California by a regional ocean-atmosphere coupled model system. *Climatic Change*, vol.122,(n° 4): pp. 609-619, december 2013.

MINVU, *Manual de aplicación de la reglamentación térmica.[en línea]*, 2008. Disponible en: <www.minvu.cl/opensite_20070417155724.aspx>

MCLEOD, Robert. HOPFE, Cristina, KWAN, Alan. An investigation into future performance and overheating risks in passive house dwellings. *Building and Environment*, (n° 70), p. 189-209.2013

OLIVEIRA, Marta, CAMELO, Susana, GONÇALVES, Helder. Assessment of the Portugese building thermal code: Newly revised requirements for cooling energy needs used to prevent the overheating of buildings in the summer. *Energy*, vol. 36, (n° 5): p. 3262-3271, May 2011.

EDWARD,ng. Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities – air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong. *Building and Environment*, vol. 44, (n° 7), p. 1478-1488.July 2009.

PALME, Massimo. Energy certification process in Chile: steps to dynamic simulation of buildings' energy performance. *En: Proceedings of the Passive and Low Energy Architecture Conference*, (Amehdabad, India, December 2014).

PALME, Massimo. The possible shift between heating and cooling demand of buildings under climate change conditions: are some of the mitigation policies wrongly understood? *En: Mediterranean Green Buildings and Renewable Energy*. Springer Ed. In press

PALME, Massimo, VÁSQUEZ, Amanda. Energy labeling of residential buildings in Chile: comparing steady-state evaluations and dynamical simulation results. *En: Proceedings of the Building Simulation Conference*, (Hyderabad, India, December 2015).

PALME, Massimo, ISALGUÉ, Antonio, COCH, Helena, SERRA, Rafael. Energy consumption and robustness of buildings. *En : Proceedings of the Central Europe towards Sustainable Buildings Conference*,(Praga, República Checa, June 2010).

SANTAMOURIS, Matheos, WOUTERS, Peter. *Building Ventilaton: The State of Art*, USA.Earthscan, 2006

SANTAMOURIS, Matheos, CARTALIS, Constantinos, SYNNEFA, Afroditi, KOLOKOTSA, Dania. On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings – a review. *Energy and Buildings* , vol. 98, :pp. 119-124 ,2015.

TOLEDO, Linda, CROPPER, Paul, WRIGHT, Andrew. Unintended consequences of sustainable architecture: Evaluating overheating risks in new dwellings. *En: Proceedings of the Passive and Low Energy Architecture Conference*, Los Angeles, USA, July 2016.



DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA PARA VALIDAR LA INFLUENCIA DEL COMPORTAMIENTO DEL USUARIO SOBRE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS PÚBLICOS DE OFICINAS

THE DEVELOPMENT OF A TOOL TO VALIDATE THE INFLUENCE OF USER BEHAVIOR ON ENERGY EFFICIENCY IN PUBLIC OFFICE BUILDINGS

ALCIÓN DE LAS PLÉYADES ALONSO FRANK
Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat - Facultad de
Arquitectura, Urbanismo y Diseño -
Universidad Nacional de San Juan
San Juan, Argentina.
afrank@faud.unsj.edu.ar

ERNESTO KUCHEN
Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat - Facultad de
Arquitectura, Urbanismo y Diseño -
Universidad Nacional de San Juan
San Juan, Argentina.
ernestokuchen@faud.unsj.edu.ar

RESUMEN

La problemática ambiental global conduce a que numerosos países incorporen estrategias de Eficiencia Energética (EE) a fin de disminuir el consumo de energía, aspecto que valoran mediante etiquetados o pasaportes de EE. Como hipótesis se considera que los usuarios de edificios son responsables del consumo de energía no previsto en la etapa de funcionamiento, por lo que el objetivo del presente trabajo es desarrollar y validar una herramienta de valoración del comportamiento de usuarios de espacios de trabajo en edificios públicos de oficinas. Para ello, se lleva a cabo un trabajo de campo en tres edificios ubicados en la ciudad de San Juan, Argentina. Se realizan encuestas a fin de evaluar los hábitos que el usuario emplea como estrategias para satisfacer su condición de confort térmico, en correlación con los consumos de energía registrados. Se elabora un indicador del Nivel de Eficiencia del Usuario (NEU) y se transfiere a una etiqueta, a efectos de obtener una rápida aprehensión por parte del mismo. Los resultados reflejan variaciones en la frecuencia de uso de artefactos de climatización, apertura de puertas y ventanas, control de parasoles y cortinas y modificación de la ropa por los usuarios, llegando a observarse variaciones del consumo energético del edificio. Los valores obtenidos del NEU, permiten demostrar la eficiencia del comportamiento de usuarios en relación al cuidado de la energía.

Palabras clave

etiqueta de eficiencia energética del usuario, confort térmico, nivel de eficiencia del usuario, edificios públicos.

ABSTRACT

The global environmental problem has led many countries to adopt Energy Efficiency (EE) strategies to reduce energy consumption, which is assessed with EE labels or "passports". It is hypothesized that building users are responsible for unforeseen energy consumption in the operational phase. Thus, the objective of this research is to develop and validate a tool for assessing the behavior of users of workspaces in public office buildings. To this end, fieldwork was carried out in three public buildings in the city of San Juan, Argentina. Surveys were conducted to assess the user habits employed as strategies to meet thermal comfort needs, which were correlated with the registered energy consumption. An indicator of User Efficiency Level (UEL) was developed and transferred to a label in order to facilitate quick understanding by users. The results reflect variations in the frequency of use of heating, ventilation and air conditioning devices; opening of doors and windows; control of sun shades and curtains; and the changing of clothes by users, leading to observed variations in building energy consumption. The values obtained from the UEL demonstrate the efficiency of user behavior in relation to the concern for energy.

Keywords

user energy efficiency label, thermal comfort, user efficiency level, public buildings.

INTRODUCCIÓN

La crisis del petróleo del 70° alerta a la comunidad internacional sobre el Uso Racional de la Energía (URE), haciendo hincapié en el aumento poblacional y los cambios de modos de vida que conllevan un aumento en el consumo de recursos, dependencia de servicios y demanda energética creciente. Desde entonces, se vienen desarrollando políticas energéticas en diversos países del mundo: Austria con la campaña "klíma: aktiv" (Clima: activo), que fomenta tecnologías y estilos de vida compatibles con la EE y el énfasis en la garantía de la calidad y normalización basada en la comunicación en red; Irlanda con la campaña "Power of one" (Poder de uno) basada en la educación y comunicación", el programa "Power of one Street" (Poder de una calle) y el sub-programa "Power of one at work" (Poder de uno en el trabajo); Reino Unido (UK) con la implantación de un código para hogares sostenibles que garantice que todas las viviendas financiadas por el gobierno alcancen un alto nivel de rendimiento energético; Finlandia, donde las empresas que firman el acuerdo de preservación de la energía optan a tasas más elevadas de subvenciones para auditorías energéticas; UK, Dinamarca y Suecia establecen estrategias combinadas mediante la creación de un impuesto de cambio climático para reducir el consumo de energía en la industria y en el sector público; Alemania con el refuerzo de la envolvente edilicia y el equipamiento con alto grado de EE a medir en un balance energético de demanda/consumo (Energie Betriebsoptimierung, 2008; Energieeinsparverordnung, 2014); entre otros.

En correlación, como ejemplo a nivel regional, Brasil implementa el etiquetado de EE de edificaciones como estrategia de URE desde 1984. Desde 2009 apunta a edificios no residenciales con superficies mayores a 500m², considerando como variables de análisis, la envolvente, el sistema de iluminación y climatización, para obtener un Nivel de Eficiencia de la edificación con letras que van de la "A" a la "E" y en 2010 transfiere el etiquetado a edificios residenciales (Instituto Nacional de Metrología Industrial, Estandarización y Calidad Industrial, 2016).

Argentina se encuentra en formación con relación a la planificación de políticas para el URE. Se crea el Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía -"PRONUREE" (Decreto 140/2007), que declara de interés y prioridad el URE en todo el territorio nacional y subraya la necesidad de inculcar cambios de hábitos de consumo de los usuarios a través de una estrategia educacional, aún no desarrollada. El Programa señala que los edificios públicos son el escenario óptimo para comunicar a la sociedad con el ejemplo, por lo que crea posteriormente el Programa de Ahorro (PA) y EE en Edificios Públicos (EEEP).

Aparece en dicho momento el etiquetado de EE con el Programa de Calidad de Artefactos Energéticos - "PROCAE". La Norma IRAM 62404-1 (2009), propone una etiqueta para los Artefactos de Consumo Eléctrico (ACE), lo que resulta un avance positivo dentro del conjunto de acciones de URE (Berset, Tanides y Grünhut, 2004), puesto que describe el

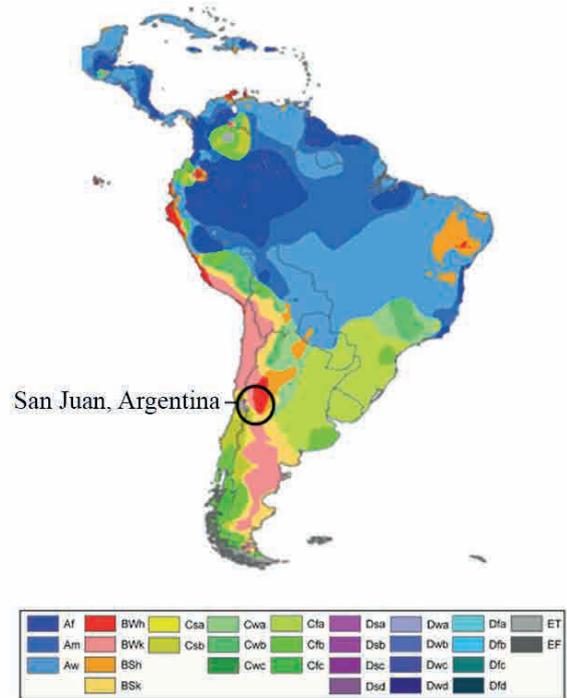


Figura 1: Mapa climático de América del Sur según la clasificación de Köppen.

desempeño energético del producto y alcanza para orientar al usuario sobre el ahorro potencial (Tanides, 2004), al dar garantía de un menor impacto ambiental frente a otros de su misma categoría (Pacheco et al, 2008).

Todas estas medidas energéticas enunciadas han sido muy buenas para hacer frente al diseño de la demanda energética de edificios, pero el proceso de toma de conciencia a nivel global sigue siendo lento y la mayor motivación del usuario pasa sólo por obtener ahorros económicos en la factura de energía (Ruá y López-Mesa, 2012).

A la fecha no existen antecedentes técnicos para medir el grado de eficiencia/ineficiencia que provoca el usuario sobre las estrategias de ahorro energético en edificios. Las primeras aproximaciones al respecto están presentes en estudios de Kuchen, Plesser y Fisch (2011), que muestra que el usuario es responsable del 30% del consumo energético no previsto en la etapa de funcionamiento del edificio y en estudios de Alonso-Frank, Kuchen y Alamino-Naranjo (2015), que indica que el comportamiento del usuario afecta hasta un 33% la EE. Es por ello que el presente trabajo pretende desarrollar una herramienta de valoración del comportamiento del usuario eficiente, quién busca permanentemente satisfacer su confort térmico. La herramienta propuesta refleja su buen/mal desempeño a través de una escala de valores con letras y colores.

Como aporte a la comunidad, se busca que la herramienta sea incorporada por el Ente Provincial Regulador de la Electricidad - "EPRE", en la factura de consumo de energía



Edificio Central de la Universidad Nacional de San Juan. Denominación ECU
Municipalidad de la Capital de San Juan. Denominación MUN-A
Municipalidad de la Capital de San Juan. Denominación MUN-B
Obras Sanitarias Sociedad del Estado. Denominación OSE

Figura 2: Edificios analizados

eléctrica que reciben los usuarios en el domicilio del edificio, como así también servir en la toma de conciencia y a modo de bonificación por el buen uso de la energía en una futura instancia.

METODOLOGÍA

La presente investigación busca desarrollar un producto que integre el hábito del usuario frente al uso de la energía en su espacio de trabajo, considerado esto como variable fundamental para establecer una correlación entre nivel de consumo y EE potencial. Como instrumento de transferencia se busca desarrollar una herramienta (etiqueta) que permita conocer el nivel de eficiencia alcanzado por el usuario, en relación a las estrategias que el mismo emplea para establecer su situación de confort térmico, en pos de aumentar la conciencia ambiental y fomentar el ahorro en el consumo de recursos.

Para ello se procede a la obtención de datos subjetivos por intermedio de una encuesta practicada en casos estudio, en tres períodos, y se establece una correlación con los datos objetivos, esto es, los consumos obtenidos por intermedio del EPRE.

La encuesta contiene el diagnóstico de información del usuario y contiene preguntas referentes a aspectos psicológicos y físicos del usuario y acciones propias que el mismo puede realizar para modificar el ambiente térmico interior. En la encuesta se analizan: los hábitos de uso de la energía y las

medidas que emplea el Usuario para satisfacer su condición de confort en su espacio de trabajo. Con esta información se elabora un equivalente numérico en función de la frecuencia de hábitos relevados y se presenta el desarrollo de la herramienta de valoración del comportamiento del Usuario como aporte a las estrategias de EE del edificio.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Se toman edificios emplazados en la Ciudad de San Juan, Argentina, a la Altitud de 630 metros sobre el nivel del mar, Latitud 31,6° Sur y Longitud 68,5° Oeste, con temperatura exterior media anual de 17,2°C y humedad relativa promedio de 53% (NORMA IRAM 11603, 1996). La región de análisis se caracteriza por la elevada radiación solar, gran amplitud térmica y viento predominante del sector sud-este, e integra la diagonal árida del país. Según la clasificación de Köppen su clima es desértico con concentración estival de precipitaciones (BWwka) (ver Figura 1). Dicha clasificación toma como variables determinantes la temperatura y la precipitación.

DESCRIPCIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO

Se toman tres edificios públicos de oficina (ver Figura 2), construidos entre la década del '50 -'70. Los mismos poseen características de diseño bioclimático y bajo mantenimiento.

La Tabla 1 detalla características comunes de los edificios analizados, que permiten establecer criterios de comparación. La superficie útil se refiere al porcentaje de oficinas respecto

de la superficie total del edificio. El tipo de protección solar móvil o fijo permite a los usuarios modificar la entrada de sol en los ambientes interiores. El consumo medio del edificio varía entre $152,4 \pm 17$ [kWh/m².a]. El desvío es bajo y permite su comparación. Las personas encuestadas se diferencian en la Tabla 1 en los períodos analizados (invierno/período transitorio/ verano).

Tabla 1: Características de los casos de estudio.

Denominación	Superficie útil [%]	Tipo de protección solar	Consumo [kWh/m ² a]	Personas encuestadas (inv./ trans./ ver.)
ECU	45,9	Móvil	161,1	47/41/33
MUN-A				29/32/25
62,0				
Fijo				17/13/19
146,6				
MUN-B	63,0	Fijo	131,0	17/13/19
OSE	77,3	Móvil	171,0	27/24/33

SELECCIÓN DE LA MUESTRA

La base de datos para el análisis y validación de la herramienta de evaluación se construye a partir de 340 encuestas llevadas a cabo en tres edificios públicos de oficinas, de la Ciudad de San Juan, Argentina, en verano, periodo transitorio e invierno, mediante un monitoreo puntual (Spot-Monitoring) según Kuchen (2008). El número de encuestados indicados en la Tabla 1 se corresponde con la cantidad total de encuestas analizadas y representa un nivel de confianza del 95%.

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Desarrollo de la herramienta de evaluación

El Usuario busca satisfacer su confort y manifiesta comportamientos que influyen en la EE del edificio. De la encuesta, se aplica el enunciado sobre hábitos/estrategias que el usuario aplica en su espacio de trabajo (ver Tabla 2), que dice: "¿Qué medida emplea y con qué frecuencia, para controlar la temperatura en esta época del año?", y que el mismo valora mediante una escala de 5-puntos, en relación a la posibilidad y la frecuencia de las opciones.

La encuesta permite conocer las estrategias que emplea y sus frecuencias a lo largo de la jornada laboral, detectando algunas que son de tipo activas (uso de calefactor y split/aire acondicionado), de tipo pasivas (apertura de ventanas/ puertas, control de parasol/cortinas y adaptación de la ropa), y la opción "Otros" que persigue detectar el uso de artefactos que no están considerados en la estrategia de climatización del edificio.

De esta manera, de la Tabla 2, las primeras estrategias (1 y 2) son de tipo "activas" e implican consumo energético. Las segundas (3 a 6) son de tipo "pasivas" pues indican que el usuario se adapta a las condiciones climáticas exteriores, no implican gasto de energía y por ello conducen al ahorro. La opción "Otros" será indicada por el usuario y la influencia será positiva o negativa sobre la EE según el ACE empleado (Ejemplo: uso de "estufa eléctrica" implica elevado consumo de energía no previsto en el diseño del sistema de climatización. Uso de "ventilador" implica un bajo consumo y no empleo de sistema de aire acondicionado). Para valorar la frecuencia de uso de las estrategias empleadas, se desarrolla un equivalente numérico de ponderación subjetiva de cada variable.

Tabla 2: Pregunta sobre hábitos de empleo de estrategias por el usuario en su espacio de trabajo.

ESTRATEGIA Siempre	FRECUENCIA				
	A	Rara vez		No es	
Un calefactor	o	o	o	o	o
Un Split/Aire acondicionado	o	o	o	o	o
Apertura de ventana	o	o	o	o	o
Apertura de puerta	o	o	o	o	o
Control de parasol/cortina	o	o	o	o	o
Adaptación de la ropa	o	o	o	o	o
Otros:	o	o	o	o	o

Cada valor de frecuencia, se califica con letras que van de la "A" (muy eficiente) a la "E" (muy poco eficiente), según se trate de estrategias pasivas o activas, y se otorga una puntuación a cada equivalente numérico. La Tabla 3, describe los rangos de puntuación en función de la frecuencia de uso. Así, se tiene que algunas estrategias empleadas frecuentemente, pueden corresponderse con un usuario adaptado al clima local y menos dependiente del sistema de climatización para lograr su confort térmico. El empleo frecuente de las estrategias pasivas ("Siempre") será correlativo con un no empleo de las estrategias activas ("No es posible").

Tabla 3: Escala de 5 puntos con calificación, rangos y equivalentes numéricos de evaluación de la frecuencia y disponibilidad de la estrategia de tipo pasiva y activa.

NIVEL DE EFICIENCIA DEL USUARIO, NEU

Para construir el indicador NEU, se ponderan los equivalentes numéricos de la Tabla 3, en base a la abstracción matemática de la Ecuación 1. De la Tabla 3, la frecuencia "Siempre"

tiene un factor de ponderación igual a 5 para estrategias pasivas, e igual a 1 para estrategias activas y la frecuencia

	ESTRATEGIA TIPO							
	Pasiva (no consume energía)				Activa (consume energía)			
	Muy	$\geq 4,5$ a 5	5	A	Muy	<1,5	1	E
A		$\geq 3,5$ a <4,5	4	B		$\geq 1,5$ a <2,5	2	D
Rara vez		$\geq 2,5$ a <3,5	3	C		$\geq 2,5$ a <3,5	3	C
	Poco	$\geq 1,5$ a <2,5	2	D		$\geq 3,5$ a <4,5	4	B
No es	Muy poco	<1,5	1	E	Muy	$\geq 4,5$ a 5	5	A

“No es posible” tiene factor de ponderación igual a 1 para estrategias pasivas e igual a 5 para estrategias activas. Eso significa que la sumatoria de los equivalentes numéricos de ponderación de mayor eficiencia está en correlación con el factor igual a 5 y de menos eficiencia con el factor igual a 1. El NEU es representativo de la información suministrada por todos los usuarios del edificio y puede ser generalizado para una estación del año o para el año completo.

$$NEU = \left(\frac{5 \cdot \sum_{i=0}^n vA + 4 \cdot \sum_{i=0}^n vB + 3 \cdot \sum_{i=0}^n vC + 2 \cdot \sum_{i=0}^n vD + 1 \cdot \sum_{i=0}^n vE}{\sum_{i=0}^n vt} \right)$$

Dónde:

NEU= Nivel de Eficiencia del Usuario

5, 4, 3, 2, 1= Equivalentes numéricos de la frecuencia de uso de una estrategia (Tabla 3)

vA= suma del total de votos de frecuencia “Siempre” de estrategias pasivas y total de votos de frecuencia “No es posible” de estrategias activas (Tabla 3)

vB= suma del total de votos de frecuencia “A menudo” de estrategias pasivas y total de votos de frecuencia “Nunca” de estrategias activas (Tabla 3)

vC= suma del total de votos de frecuencia “Rara vez” de estrategias pasivas y activas (Tabla 3)

vD= suma del total de votos de frecuencia “Nunca” de estrategias pasivas y total de votos de frecuencia “A menudo” de estrategias activas (Tabla 3)

vE= suma del total de votos de frecuencia “No es posible” de estrategias pasivas y total de votos de frecuencia “Siempre” de estrategias activas (Tabla 3)

vt= Total de votos emitidos

Etiqueta de calificación del NEU

Con el objeto de transmitir al usuario su NEU alcanzado y al propietario del edificio el NEU alcanzado por el mismo, el equivalente numérico se traduce en una barra de colores como se muestra en la Figura 3. La misma va del rojo (bajo nivel de eficiencia) al verde (alto nivel de eficiencia) y posee una flecha que indica la calificación obtenida por dicho usuario (Ejemplo: La Figura 3 muestra una calificación de 4 (cuatro) sobre la etiqueta, es decir con significado “eficiente”). Resultados de la aplicación del NEU en edificios públicos de oficinas

Un análisis integral de las frecuencias y empleo de estrategias de adaptación por el usuario de cada edificio, considerando las

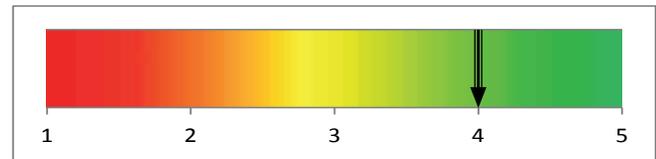


Figura 3: Identificación de la eficiencia del usuario - Ejemplo con NEU=4.

encuestas de los tres períodos estacionales, se muestra en la Figura 4 y 5. Se destaca que las estrategias pasivas “adaptación de la ropa” y “apertura de puertas y ventanas”, son las más frecuentes en ECU y MUN, obteniendo como resultante un menor consumo de energía por unidad de superficie útil analizada (ver Tabla 1). En contraposición, OSE emplea más frecuentemente estrategias “activas” para el aporte de confort de los usuarios, que se traduce en un mayor consumo, sobre todo en refrigeración/calefacción (aproximadamente 40%), bajando la eficiencia del edificio (ver Figura 4).

La Figura 5 sintetiza la relación uso estrategia activa vs. estrategia pasiva. OSE se muestra en la posición más desfavorable en el URE. Se pone en foco el NEU de cada edificio a fin de analizar la influencia del usuario en el comportamiento energético de cada edificio y estimar la EE potencial.

INFLUENCIA DEL NIVEL DE EFICIENCIA DEL USUARIO EN LA EE

Las estrategias practicadas por los usuarios permiten determinar el NEU, que podrá ser variable en relación a las estaciones del año. Del estudio se obtiene que en ECU, el NEU llega a 3,13 en el período de verano; 3,91 en el período transitorio y 3,65 en invierno. En el edificio MUN-A, los valores se corresponden respectivamente con: 3,37; 3,83; 3,67, en el edificio MUN-B: 3,17; 3,40; 3,45, y en OSE: 2,78; 3,05; 2,87. La Figura 6 muestra la calificación final de cada edificio obtenida en base al promedio de los tres períodos analizados y permite conocer la EE potencial para el funcionamiento de los edificios analizados, en función de los hábitos de comportamiento del usuario. El edificio OSE se muestra como el más ineficiente con un valor de NEU igual a 2,9 y el edificio MUN-A como el

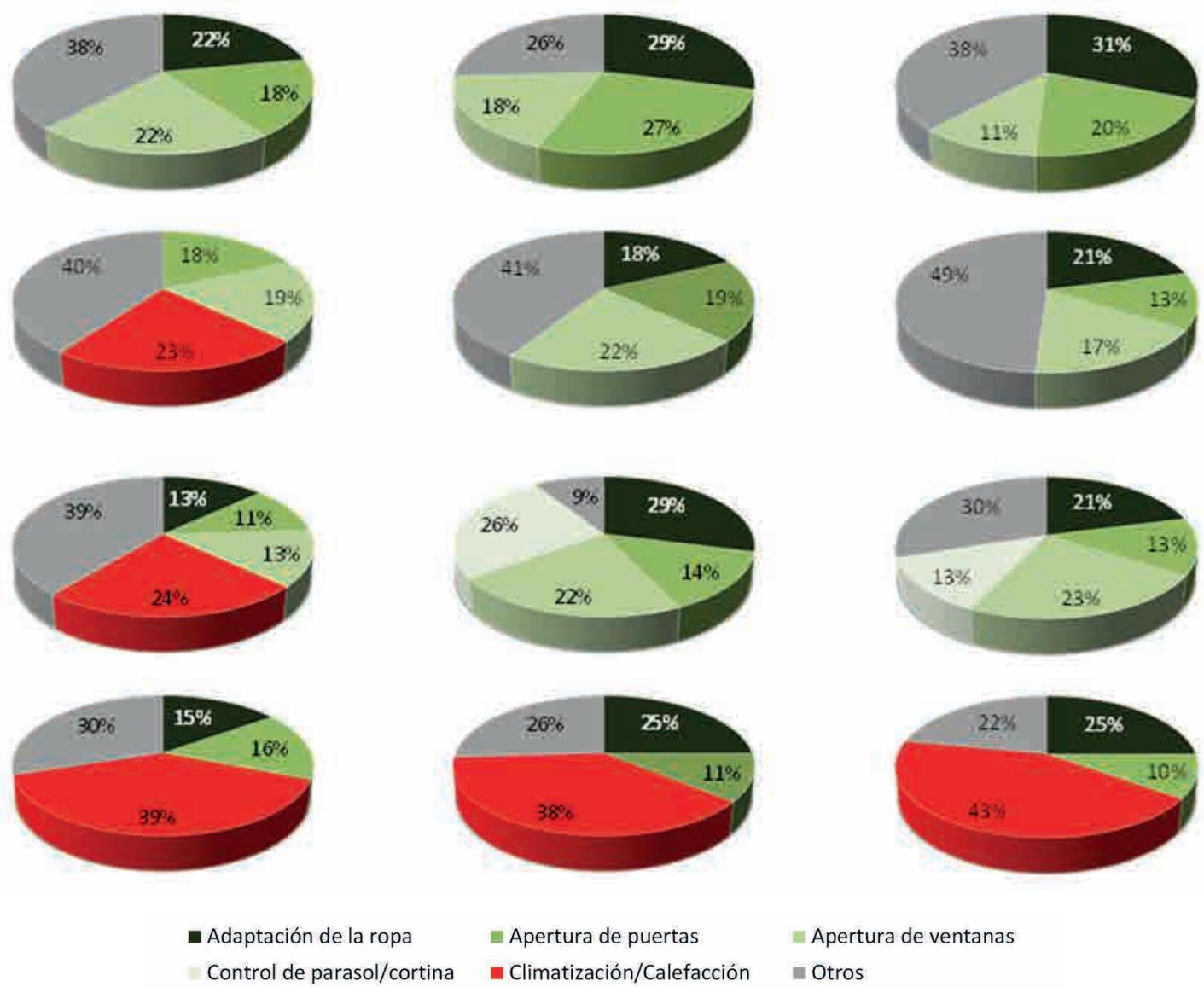


Figura 4: Hábitos de uso de estrategias de adaptación por parte de usuarios de ECU – MUN – OSE, por período.

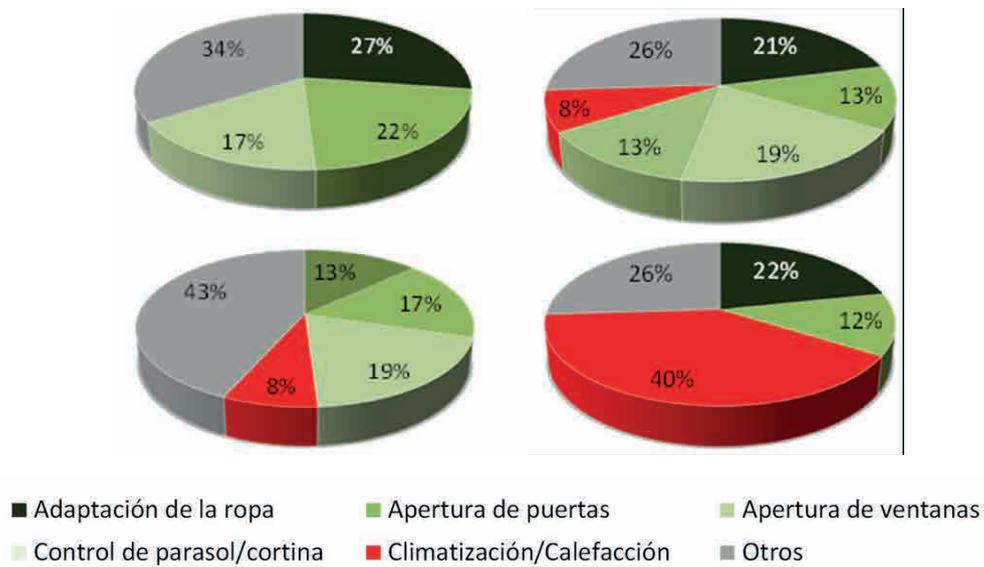


Figura 5: Hábitos de uso de estrategias de adaptación por parte de usuarios de ECU – MUN – OSE, promedio de los tres períodos.

más eficiente con un valor de 3,64 sobre la escala de 5 puntos. Eso significa que los hábitos del usuario en OSE afectan la eficiencia del edificio en un 42% y en MUN-A en un 27%.

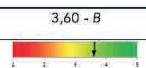
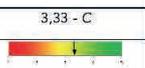
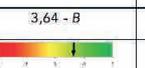
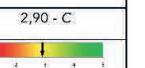
Edificio	ECU	MUN-B	MUN-A	OSE
NEU	3,60 - B	3,33 - C	3,64 - B	2,90 - C
Etiqueta				

Figura 6: NEU resultante.

Del total de edificios locales analizados es posible contrastar la hipótesis planteada: que el usuario es responsable del consumo no previsto en la etapa de funcionamiento del edificio. La Tabla 1 muestra que OSE tiene el mayor consumo por unidad de superficie útil (171 kWh/m².a). El valor obtenido del NEU en este estudio permite demostrar que la eficiencia del edificio depende del comportamiento del usuario. El usuario de los edificios públicos de oficina es, de esta manera, responsable del 33% de una baja en la eficiencia general.

CONCLUSIONES

La herramienta expuesta desarrolla el indicador del Nivel de Eficiencia del Usuario (NEU), el cual refiere al comportamiento energético del mismo en su espacio de trabajo. El valor numérico obtenido en el NEU, traducido en una etiqueta permite al usuario y al propietario del edificio, la rápida aprehensión de su nivel de eficiencia, conduciendo a un aporte en la toma de conciencia ambiental de manera de evitar el consumo innecesario de energía.

La herramienta se valida en trabajo de campo in situ de tres edificios públicos de oficina, en relación a los valores de consumo energético edilicio, el comportamiento del usuario y su ahorro potencial calculado en los casos estudiados. Así es posible estimar que sobre el consumo promedio de 152,4 kWh/m².a, una eficiencia potencial del 33% del usuario podría significar un ahorro de 50,3 kWh/m².a y con eso estimar un valor de demanda de energía objetivo a nivel local de 100 kWh/m².a para edificios no residenciales. En una constante búsqueda por hacer frente a URE, la herramienta es considerada de gran importancia para el desarrollo local y además la etiqueta cumpliría con el objetivo de comunicador social.

No obstante, actualmente está en desarrollo un plan de concientización de usuarios para URE, mediante un "Manual de EE para usuarios de edificios residenciales y no residenciales" como un intento de obtener y constatar los beneficios económicos y ambientales resultantes del uso de esta herramienta. Los resultados se expondrán en próximas publicaciones.

En cuanto a la transferencia, la herramienta desarrollada, se presenta al Ente Regulador de la Electricidad (EPRE). De esta manera no sólo es posible establecer demandas de energía objetivo para edificios, ya que su regulación e implementación permitirían en una primera instancia que el usuario llegue a obtener una medida del impacto de su consumo energético y en una segunda instancia, el usuario podría recibir premios y bonificaciones fundadas por el uso adecuado de la energía. Se persigue de esta manera que la sociedad conozca y comprenda lo que implica a nivel ambiental el uso no racional de la energía.

La herramienta destaca por sentar una base para identificar comportamientos y acciones que contribuyan al cambio de hábitos a mediano y largo plazo, que en consecuencia mermará el impacto ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO-FRANK, A; KUCHEN, E, ALAMINO-NARANJO, Y. Developing an energy efficiency assessment tool for buildings according to user behavior indoors. *En: The 31° International PLEA Conference Passive Low Energy Architecture: Architecture in (R) Evolution.* (Bologna, Italia. 2015).

BERSET, Alberto; TANIDES, Carlos; GRÜNHUT, Enrique. Etiquetado en eficiencia energética en motores eléctricos industriales y ahorro de energía. 2004.

DECRETO LEY N° 140. PRONUREE: Programa Nacional de uso racional y eficiente de la energía. Interés y prioridad nacional. Poder Ejecutivo Nacional (P.E.N.). Publicada en el Boletín Oficial del 24-dic-2007. Número: 31309. 2007. p. 4.

Energie Betriebsoptimierung - *EnOB 2008.* [En línea]. Disponible en: <<http://www.enob.info>>. [Consultado el 8 de marzo 2016]

Energiieensparverordnung - *EnEv 2014.* [En línea]. Disponible en: <<http://www.enev-online.de/>> , [Consultado el 8 de marzo 2016]

Instituto Nacional de Metrología Industrial, Estandarización y Calidad Industrial – *INMETRO 2016.* Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). [En línea]. Disponible en: <<http://www2.inmetro.gov.br/pbe/edifica.php>> [en portugués], [Consultado 2 de junio 2016]

KUCHEN, E. Spot-Monitoring zum thermischen Komfort in Bürogebäuden. Tesis de Doctorado. Der Andere Verlag, S. 203, Tönning, Deutschland. 2008.

KUCHEN, E.; PLESSER, S.; FISCH, M. N. Eficiencia Energética y Confort en Edificios de Oficina. *En: XI ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construido.* Rio de Janeiro, Brasil. 2011

NORMA I. R. A. M. 11603: Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Buenos Aires. Argentina, 1996.

NORMA I. R. A. M. 62404-1: Etiquetado de eficiencia energética. Buenos Aires. Argentina, 2009.

PACHECO, B.; PANEQUE, A.; COLLADO, D., VIÑOLES, R., & CAPUZ, S. Actitud de los consumidores frente a las etiquetas ambientales. *En: XII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos.* 2008. p. 1268-1279.

RUÁ, M. J.; LÓPEZ-MESA, B. Certificación energética de edificios en España y sus implicaciones económicas. *Informes de la Construcción*, 2012, vol. 64, no 527, p. 307-318.

TANIDES, C. G. Etiquetado en eficiencia energética y valores de consumo máximo. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, (AVERMA).vol. 8, N° 2.2004

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al MINCYT (Ministerio de Ciencia y la Tecnología de la Nación Argentina), al CONICET (Concejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Argentina) y a la FAUD-UNSJ (Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño - Universidad Nacional de San Juan), por el fomento a investigadores vinculados a este trabajo.



EL IMPACTO DE LOS PROYECTOS INMOBILIARIOS Y SUS ATRIBUTOS DE SUSTENTABILIDAD SOBRE EL VALOR DEL SUELO: ¿CAUSA O CONSECUENCIA? DOS ESTUDIOS DE CASOS PARA SANTIAGO DE CHILE

Artículo
Recibido 28-10-2016
Aceptado 27-12-2016

THE IMPACT OF REAL ESTATE PROJECTS AND THEIR SUSTAINABILITY CHARACTERISTICS ON LAND VALUES: CAUSE OR CONSEQUENCE? TWO CASE STUDIES FROM SANTIAGO, CHILE

FELIPE ENCINAS

Escuela de Arquitectura; Facultad de Arquitectura, Diseño y
Estudios Urbanos; Pontificia Universidad Católica de Chile,
Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS)
Santiago, Chile
felipe.encinas@uc.cl

CARLOS MARMOLEJO

Centro de Política de Suelo y Valoraciones; Escuela Técnica
Superior de Arquitectura de Barcelona;
Universidad Politécnica de Cataluña
Barcelona, España
carlos.marmolejo@upc.edu

CARLOS AGUIRRE

Escuela de Construcción; Universidad de las Américas
Santiago, Chile
caguirre@udla.cl

RESUMEN

Desde la perspectiva de los desarrolladores existe la hipótesis arraigada que la localización acaba condicionando las principales determinantes de los proyectos inmobiliarios. Ante dicho paradigma se confronta la teoría de la renta ofertada según la cual el suelo recibe valor de aquello a lo que da soporte, expresado por medio de atributos arquitectónicos. A la luz de dos estudios de casos en Santiago se pretende estudiar la relación que existe entre el valor del suelo y el valor inmobiliario con el objetivo de identificar el sentido de esta causalidad, a la vez de establecer el rol que juegan los atributos de sustentabilidad – como expresión de atributos arquitectónicos emergentes – en la conformación del precio. Se observó que el valor del inmueble es producto de la interacción entre el valor del suelo y las características arquitectónicas generada a través de una causalidad circular, donde a cada localización le corresponde una tipología que puede producir submercados. En este sentido, los atributos de sustentabilidad efectivamente influyen en la formación de valor, pero no de forma lineal, sugiriendo claramente la existencia de submercados de vivienda acordes a los niveles de precios, y constituyendo un nuevo elemento en la relación entre suelo y atributos.

Palabras clave

mercado inmobiliario, suelo urbano, atributos de sustentabilidad, arquitectura

ABSTRACT

From the point of view of developers, there is the belief that location determines the main characteristics of real estate projects. On the contrary, the bid rent theory proposes that land receives value from that which it supports, as expressed by means of architectural attributes. In light of two case studies in Santiago, Chile, the relationship between land value and real estate value was studied with the aim of identifying the meaning of this causality and the role of sustainability characteristics – as an expression of emergent architectural attributes – in price formation. It was observed that the interaction between land value and architectural characteristics generates property price through circular causality, where there is a certain typology for each location that can produce submarkets. In this sense, sustainability attributes effectively influence the creation of value – but not linearly – which clearly suggests the presence of housing submarkets according to price level, and a new element in the relationship between land and architectural attributes.

Keywords

real estate market, urban land, sustainability characteristics, architecture

INTRODUCCIÓN

La decisión de compra de un producto inmobiliario está asociada a la valoración de los diferentes atributos que componen este bien complejo. En su definición, los atributos serán entendidos como aquellas características del producto inmobiliario que son capaces de generar una diferenciación en la vivienda, contribuyendo en su construcción de valor. De acuerdo a la definición de Lancaster (1966), la vivienda no es demandada por ella misma *per se*, sino por los atributos contenidos en cada producto inmobiliario. En consecuencia, el producto vivienda en particular, puede ser comprendido como una suma de atributos (Jansen 2011), las cuales pueden ser las propias del proyecto inmobiliario, como las de la localización (Schmitz y Brett 2001). Estas últimas son en sí inmodificables, ya que una ubicación cuenta con un estándar asociado a sus aspectos microlocalizacionales, como de la comuna donde se encuentra, mientras que las del proyecto pueden generar un diseño de producto por agregación, en función de los diferentes atributos que el gestor inmobiliario quiera entregar. Así, en mercados que tienen pocas regulaciones, esto se refleja en un proyecto que va compensando sus atributos para mantener rango de precios similar en distintas ubicaciones.

En esa lógica cada proyecto puede ser analizado en esta relación sobre su producto y su valor, donde los aspectos localizacionales influyen en el precio mediante la repercusión del valor del suelo, y por el otro, el producto es adaptado por medio de atributos arquitectónicos ante precios de suelo que no permiten obtener la explotación inmobiliaria requerida por el inversor. En este contexto, el valor del suelo según sus características y restricciones puede denominarse “valor de uso” en referencia a Adam Smith (Harvey 2014b), o como “valor de cambio”, asociado a las características del producto entendidas entre el valor monetario y el percibido por el demandante. Estos valores se relacionan de forma dialéctica resumiendo los elementos propios de la valoración de los demandantes y oferentes (Harvey 2014b).

A la luz de dos estudios de casos en Santiago de Chile (Encinas 2015; Marmolejo, Skarmeta y Aguirre 2015), se pretende estudiar la relación que existe entre el valor del suelo y el valor inmobiliario con el objetivo de identificar el sentido de esta causalidad, a la vez de establecer el rol que juegan los atributos de sustentabilidad – como expresión de atributos arquitectónicos emergentes – en la conformación del precio inmobiliario. El caso de la comuna de Ñuñoa evidenció que los condominios en altura – definidos con un conjunto de características arquitectónicas específicas y dirigidos a demandantes con un nivel adquisitivo determinado – influyen el valor del suelo de las propiedades vecinas, y que por su valor sólo hace viable la generación de esta tipología de vivienda y no otras. En consecuencia, el valor del inmueble puede expresarse como producto de la interacción entre

el valor de la localización y los atributos arquitectónicos generados a través de una causalidad circular, y donde a cada localización le corresponde una tipología que puede producir submercados. Por otra parte, los atributos de sustentabilidad efectivamente influyen en la formación de valor, pero no de forma lineal a través de los rangos de precio, sugiriendo claramente la existencia de submercados de viviendas y al mismo tiempo, un nuevo elemento en la relación entre suelo y atributos.

Las perspectivas de análisis para discutir esta relación, nacen de dos investigaciones realizadas y que ponen el diálogo para identificar y comprender dicha relación en el mercado inmobiliario chileno. Ambas investigaciones son cuantitativas de diseño transversal y se desarrollaron en base a mercados inmobiliarios de Santiago de Chile.

PROYECTOS INMOBILIARIOS Y EL VALOR DE SUELO COMO CAUSALIDAD ASCENDENTE (*BOTTOM-UP*): UNA PERSPECTIVA DESDE LA INDUSTRIA

Dentro del discurso de los desarrolladores inmobiliarios, es un lugar común la relación que existe entre el valor del suelo y los proyectos a los que da sustento. Así no resulta extraño que dichos agentes afirmen que el valor del suelo acaba aumentando de forma directa el precio al que tienen que vender o alquilar los productos inmobiliarios que sobre él se localizan. Sin embargo, este precio o disposición a pagar esta mediada por las capacidades financieras de los demandantes, y por tanto tiene un límite superior determinado por su capacidad de deuda. En ese orden de ideas, el (alto) valor del suelo no sólo condiciona los (altos) precios de los inmuebles, sino que además, condicionan su tipología, uso y calidad constructiva. De esta forma, las zonas en donde la compra de terrenos resulta muy costosa, acaban siendo desarrolladas con proyectos que permiten sacar el máximo provecho a tales inversiones, maximizando el retorno de la inversión en el suelo por sobre el de construcción. Dicho aprovechamiento viene en primer lugar, fijado por el uso y nicho de mercado al cual se orientan los proyectos inmobiliarios, que a su vez son herederos de la capacidad de pago o renta presente y proyectada de los demandantes. De forma simultánea, la intensidad edificatoria también responde al máximo provecho que se pueda obtener del suelo, de forma que si éste se adquiere a un precio alto, los motivos para extraer el máximo provecho a través de la construcción en altura se maximizan. Ambas cosas, uso e intensidad, acaban fundiéndose para determinar la tipología edificatoria. La relación de causalidad ascendente (*bottom-up*) queda claramente constatada desde la perspectiva de quienes inciden en la oferta inmobiliaria.

No resulta extraño que en los estudios de factibilidad los desarrolladores partan del precio del suelo y con este antecedente se calcule la rentabilidad que el proyecto les puede redituarse una vez que el proyecto, su construcción y los atributos asociados a la localización quedan fijados como consecuencia de dicho precio. Tampoco es raro que dichos agentes clamen por una liberalización, o disminución de las restricciones edificatorias del suelo, como vía para absorber los costes de construcción de la vivienda. En síntesis, la discusión se encuentra entre el modelo de rentas urbanas de los desarrolladores inmobiliarios frente a demandantes que restringen su decisión de compra por el precio de la vivienda, asociado al crédito a obtener en la banca. Esta lógica nos lleva a pensar que el modelo de renta minimizaría los atributos arquitectónicos, para balancear la ecuación del demandante potencial.

Esta postura dogmática y generalmente aceptada por el grueso de los operadores inmobiliarios toma forma frontal con la teoría fundacional de la economía urbana, según la cual el mecanismo de formación del valor del suelo es precisamente el contrario: son los usos, las intensidades de uso y lo que los individuos están dispuestos (y pueden) pagar por ellos los que acaban incidiendo sobre el valor del suelo – en una relación de causalidad descendente (*top-down*) – y no al revés. En términos simples el demandante compra lo que le alcanza, esto se expresa en términos económicos con la condición natural de monopolio localizacional del proyecto. A ésta llegan a competir proyectos sustitutos – compitiendo a un precio similar, o reemplazando ubicación por otros atributos. Esta renta de monopolio se constituye en la mercancía o servicio producido – además de la propia del suelo – solapándose unas con otras y generando un nuevo paradigma de análisis, que en su conceptualización de maximización de utilidad del capital reevalúan la ecuación inmobiliaria (Harvey 2014a). Siguiendo este argumento se realiza una “competencia” entre monopolistas, que cambian sus mercados al diferenciarse entre sí – mediante el diseño de su producto inmobiliario – desde su producto base a los servicios asociados, al imaginario de la vivienda urbana o componente simbólico (Bourdieu 2012) y a los medios de comercialización que se utilizan. Esta “competencia monopolística” entre productos, configura una oferta inmobiliaria con niveles de diferenciación a nivel de atributos y enfoques de mercado.

PROYECTOS INMOBILIARIOS Y VALOR DE SUELO COMO CAUSALIDAD DESCENDENTE (TOP-DOWN): UNA APROXIMACIÓN DESDE LA ECONOMÍA URBANA

La teoría de la renta ofertada se encuentra en el corazón de la llamada nueva economía urbana, la cual se caracteriza fundamentalmente por estudiar las relaciones que se suscitan entre los individuos (y agentes económicos) en el espacio. Ricardo (1819) sugirió de forma primigenia que el suelo no

tiene un valor en sí mismo, sino que lo forma a través de una transferencia de renta. Esta se forma por la diferencia entre el precio que en el mercado tienen los productos a los que da sustento menos el conjunto de costes de producción distintos al suelo. De forma que cuanto más dispuesta esté la demanda a pagar por aquello que se desarrolla en una determinada localización – ante una igualdad de costes de producción – tanto mayor es la renta que se puede pagar por el suelo. Así, el suelo recibe una transferencia a través de una lógica de arriba hacia abajo que puede ser un pago periódico en forma de alquiler. De esta forma la capitalización financiera de dicha transferencia puede transformarse en un precio o, mejor dicho, en un precio probable o valor. Von Thünen (1826) propuso una tesis que acabaría determinando el pensamiento económico en relación a la determinación de usos y valor del suelo. Para él, existe un principio básico de compensación entre los costes de transporte y la renta del suelo, de forma que las zonas más próximas a las centralidades territoriales suelen tener valores del suelo más elevados porque permiten ahorrar tiempo y energía en los desplazamientos hacia ellas. Dicho mecanismo compensatorio acaba produciendo un gradiente de renta del suelo, y por otra parte, una situación de equilibrio tal que, con independencia de dónde se sitúe un individuo a lo largo del espacio, su función de utilidad es invariable si efectivamente paga el valor del suelo que corresponde a dicho gradiente.

Sin embargo, usos y valor del suelo no es la única faceta de dicho proceso de auto organización, también lo es la intensidad de uso del suelo. Para una localización costosa (muy accesible respecto a la centralidad), es más factible densificarla y obtener mayores réditos de las inversiones en suelo. Mills y Hamilton (1984) demostraron que si se parte de un modelo monocéntrico, en el cual todo el empleo se concentra en el centro de negocios y servicios, la densidad demográfica decrece a medida que incrementa la distancia a dicha centralidad siguiendo una función exponencial negativa. Prácticamente todos los estudios empíricos que han analizado la forma en cómo se distribuye la población metropolitana en diferentes países han encontrado válida en mayor o menor medida dicha función (Clark 1951; McDonald 1989; Bertaud y Malpezzi 2003; Aguirre y Marmolejo 2010). Lo importante es que la reducción de la densidad a partir del centro no sólo es aplicable a la población, sino también a la actividad económica como lo demostró Mills (1969).

En suma, usos del suelo, intensidad de uso del suelo y valor del suelo en una economía de libre mercado se determinan, según se ha visto, de forma simultánea. Sostener que sólo existe una relación de causalidad, especialmente si es de tipo ascendente (*bottom-up*) es reducir la complejidad del proceso de auto organización a una simplificación inaceptable.

Finalmente cabe reconocer que el valor del suelo se forma, además de los mecanismos arriba señalados, también por la diferente distribución de las externalidades ambientales y de los mercados líderes o de alto costo que la sociedad está dispuesta a pagar por la existencia de la desigual distribución de los grupos socioeconómicos en el espacio.

LA RELACIÓN ENTRE PROYECTOS INMOBILIARIOS, VALOR DEL SUELO Y SUS ATRIBUTOS, A TRAVÉS DE DOS ESTUDIOS DE CASOS EN SANTIAGO DE CHILE

En complemento a la renta del suelo como valor preponderante, es posible establecer dos acercamientos empíricos que en base a estudios realizados en la Región Metropolitana de Santiago, permiten observar como los productos inmobiliarios se van modificando en sus atributos – particularmente los asociados a la sustentabilidad – por la localización. La ciudad de Santiago fue escogida para el análisis debido a la presencia de un mercado de vivienda altamente competitivo, fuertes campañas de promoción y productos inmobiliarios complejos.

EL IMPACTO DE LOS CONDOMINIOS EN ALTURA SOBRE EL VALOR DEL SUELO EN LA COMUNA DE ÑUÑO A

De acuerdo a Aguirre y Marchant (2007), en la comuna de Ñuñoa el nivel de ingresos de la población es diverso, si bien con predominio de los grupos socioeconómicos medios y medios-altos. Desde el principio de la década del 90 dicha estructura se encuentra en plena transformación debido a que las comunas que rodean el centro de Santiago albergan cada vez más edificios en altura, aumentando la densidad e intensidad de uso de suelo en ellas. Detrás de esta dinámica inmobiliaria subyace la influencia de los cambios en las normativas municipales, que progresivamente han ido densificando este tipo de barrios y la naturaleza de los lotes existentes, en general de gran tamaño, con lo que resultan atractivos para la inversión inmobiliaria sobre todo a base de obtener una mayor edificabilidad a través de su fusión. La tipología dominante de dichos condominios es de torres en altura, con servicios internos variados (p. ej., gimnasio, lavandería y piscina) y control de acceso, insertándose en zonas de tipologías de baja densidad y generando un impacto importante en las condiciones de vida de los residentes antiguos. El mercado de la vivienda ha experimentado claramente un cambio en sus atributos inmobiliarios, en especial los asociados al proyecto y servicios asociados como forma de competencia – en coherencia con lo establecido por (Harvey 2014a, 2012, 2007) – pero con un claro abandono del proyecto arquitectónico en el proceso.

En este contexto, hemos estudiado la relación entre la aparición de condominios en altura en la comuna de Ñuñoa y la revaloración del parque inmobiliario vecino (Marmolejo, Skarmeta y Aguirre 2015). Para estudiar el impacto que producen dichos proyectos inmobiliarios sobre los inmuebles vecinos y sobre el valor del suelo, se observó la relación que guarda la localización de 59 proyectos iniciados entre el año 2000 y 2003 y el valor en venta de 3.447 viviendas ubicadas en su entorno. Así, a

través de un modelo de precios hedónicos, se estudia la incidencia sobre el valor de las viviendas de las variables arquitectónicas y las urbanísticas, incluida la proximidad de la vivienda a un condominio en altura.

Los resultados de este estudio, publicados en Marmolejo, Skarmeta y Aguirre (2015), sugieren que un condominio de superficie media, es decir, de unos 7.651 m², produce una revalorización del 4,7% en las viviendas que se encuentran en un radio de acción de 300 m. Por tanto, el valor del suelo relativamente alto en Ñuñoa, no sólo condiciona el hecho de que los desarrolladores inmobiliarios prefieran edificar en altura departamentos orientados a un poder adquisitivo medio-alto como medida para amortizar la cuantiosa inversión en el suelo, sino también, y sobre todo, la presencia de estos proyectos inmobiliario-arquitectónicos incide sobre el valor del suelo. Si las viviendas que rodean a estos proyectos aumentan su valor no es porque tener en proximidad un desarrollo de esta naturaleza reporte beneficios a sus usuarios, sino porque se capitalizan expectativas de revalorización del suelo. Asimismo este impacto parece estar afecto a las economías de escala, toda vez que la simple presencia de un condominio no es suficiente para alterar la función de la renta del suelo de los inmuebles vecinos, ya que es necesario que dicho condominio tenga cierta masa crítica. Para analizar en qué medida decrece el impacto a medida que incrementa la distancia a la que se ubica un condominio de una casa, se ha calibrado una familia de modelos mediante la inclusión progresiva de aquellos condominios que se inscriben en buffers sucesivos de 100 m a partir de cada casa. En términos estadísticos, en la explicación de los precios de las casas vecinas este análisis sugiere que la externalidad que generan los condominios es de tipo local, toda vez que a medida que incrementa la distancia la presencia de condominios pierde fuerza esta externalidad. Sin embargo, ese mayor valor de dichas parcelas acaba produciendo únicamente condominios con los atributos arquitectónicos anteriormente señalados (p.ej., piscina, áreas verdes privadas, etc.) y orientados a demandantes con cierto nivel adquisitivo que sean viables. Se produce, de esta manera, una causalidad circular que imbrica, hasta cierto punto, la localización (como elemento fundamental del valor del suelo) con las características arquitectónicas.

EL IMPACTO DE LOS ATRIBUTOS DE SUSTENTABILIDAD EN EL PRECIO DE OFERTA DE DEPARTAMENTOS EN SANTIAGO

Habiendo establecido este binomio de causalidad circular entre proyectos arquitectónico-inmobiliarios y precio de suelo, es posible señalar que – hasta el momento – las variables de ubicación y precio de oferta aparecen como prioritarios en la manera en que se establece esta relación en la ecuación inmobiliaria. No obstante, como ya se mencionó, la propia condición de bien complejo que define a los productos inmobiliarios incorpora la noción de atributo bajo el paradigma de la agregación de valor.

En este sentido, la disposición a pagar podría estar en alguna medida determinada por la diferenciación a nivel de estos atributos, configurando submercados de vivienda específicos.

Si bien, una vez que se han descartado las variables localizacionales, estos atributos inmobiliarios han estado tradicionalmente asociados a aspectos tales como la seguridad, áreas verdes o provisión de servicios (p.ej. gimnasio, lavandería y piscina), los atributos de eficiencia energética y sustentabilidad han emergido en los últimos años con un creciente nivel de posicionamiento dentro de los discursos de la promoción inmobiliaria. Por ejemplo, sobre un total de 3431 proyectos de condominios verticales en oferta en el período 2007-2014, la presencia del atributo de ventanas con doble vidriado en las fichas de promoción del *Portalinmobiliario.com*¹ ha aumentado desde un 5% a inicios del período a un 29% a finales de éste. Otros atributos de este tipo, como los colectores solares térmicos y el incremento de los niveles de aislación térmica, ha aumentado desde un 1% a un 10% y de un 1% a un 4%, para el mismo período respectivamente (Encinas 2015). De esta forma se apuesta por una promoción indirecta de la eficiencia energética, puesto que supone que los costes evitados en los consumos de calefacción, electricidad o agua caliente sanitaria inciden positivamente en la disposición a pagar por ellos, y de esta manera en precios mayores capaces de compensar los costes de producción, animando a los promotores inmobiliarios a su desarrollo.

Los atributos de eficiencia energética y sustentabilidad – considerados individualmente – cobran especial valor en la medida que los sistemas de certificación energética y/o ambiental todavía no se han posicionado masivamente en el mercado inmobiliario residencial de Santiago. En efecto, hacia el año 2014, sólo un 1,6% de los proyectos inmobiliarios de departamentos declaraban haberse certificado por alguno de estos sistemas (públicos o privados) (Encinas 2015). A esto hay que sumar, la existencia de una regulación térmica cuyos estándares – si bien han sido valorados como punto de partida inicial – reconocidamente están en deuda en términos de su aporte efectivo a la eficiencia energética de la vivienda (Bustamante et al. 2009; Collados y Armijo

2008), además de no haber sido actualizados en 9 años. La propia OCDE ha observado el asunto, recomendando encarecidamente que el país pueda avanzar sobre mejores estándares de envolvente térmica (Caldera 2012).

Consecuentemente, bajo la lógica del mercado se espera que las promociones de viviendas con mayores niveles de eficiencia energética reciban una categoría de mercado líder en el entendido que los beneficios marginales equivalgan a los costes marginales por mejoras de envolvente térmica y/o sistemas más eficientes. El trabajo pionero de Dinan y Miranowsky (1989) reveló que las mejoras en eficiencia energética aplicadas en el mercado inmobiliario de Des Moines, Iowa – equivalentes a una reducción en el consumo energético de 1 USD – representaban un sobre precio de 11,63 USD en el precio de venta. Por otra parte, en una gran cantidad de países donde se han implementado etiquetados energéticos – en el caso europeo, obligatoriamente a partir de la introducción de la Directiva 2002/91/CE (Official Journal of the European Union 2003) – se observa la generación de un sobre precio asociado a viviendas mejor calificadas energéticamente, tal como se ha reportado en España (Marmolejo y Echeverría 2015), Austria, Bélgica y Francia (Bio Intelligence Service, Lyons y IEEP 2013), Irlanda (Hyland, Lyons y Lyons 2013), Suecia (Cerin, Hassel y Semenova 2014) y Reino Unido (Fuerst et al. 2015), entre otros.

Dado que en Chile este tipo de calificación energética no es obligatoria – y aún como instrumento voluntario presenta hasta el momento una muy escasa penetración a nivel del mercado privado² – resulta muy difícil poder analizar la formación de precios para el mercado de Santiago desde las viviendas certificadas (como si lo hace gran parte de la literatura internacional al respecto), por eso se evaluó el rol que los atributos de eficiencia energética y sustentabilidad juegan en este sentido. De esta manera, estos atributos, más variables localizacionales asociadas a las distintas comunas de la ciudad de Santiago y algunas características de calidad constructiva – definidas como variables de control – fueron consideradas como variables independientes para la aplicación de una serie de regresiones múltiples, mientras que el precio de

[1] *Portalinmobiliario.com* es el portal de búsqueda más importante del país para la venta y arriendo de propiedades, con presencia, además, en varios países latinoamericanos.

[2] En efecto, en términos de la calificación energética definitiva, sólo un 5.4% de estas viviendas corresponden al mercado privado, lo que en términos absolutos se traduce en 404 viviendas en todo Chile desde el inicio del sistema en el 2013 hasta octubre del 2015 (Ministerio de Vivienda y Urbanismo 2015). Este valor aparece como marginal en comparación con el stock total del mercado inmobiliario, que a nivel nacional ha fluctuado entre las 70.000 y 90.000 unidades para el mismo período (CChC 2016).

Tabla 1. Frecuencia de atributos de eficiencia y sustentabilidad (variables dummy) para el período 2007-2014 de la base de datos del Portalinmobiliario.com

Atributos	Frecuencia					
	Total (N=3431)		Rango de precios 1000-2000 UF (N=1238)		Rango de precios 2000-4000 UF (N=1293)	
Energéticamente eficiente	208	6,1%	100	8,1%	73	5,6%
Sustentable	31	0,9%	2	0,2%	8	0,6%
Ecológico	79	2,3%	29	2,3%	33	2,6%
Doble vidriado	357	10,4%	50	4,0%	79	6,1%
Aislación térmica	94	2,7%	26	2,1%	30	2,3%
Iluminación eficiente	72	2,1%	21	1,7%	33	2,6%
Muros o techos verdes	4	0,1%	0	0,0%	4	0,3%
Solar térmico	223	6,5%	106	8,6%	79	6,1%
Solar fotovoltaico	11	0,3%	2	0,2%	3	0,2%
Artefactos eficientes para ahorro de agua	34	1,0%	11	0,9%	12	0,9%
Jardines y riego eficiente	3	0,1%	0	0,0%	2	0,2%
Estacionamiento para bicicletas	57	1,7%	15	1,2%	24	1,9%
Infraestructura para reciclaje	21	0,6%	5	0,4%	9	0,7%

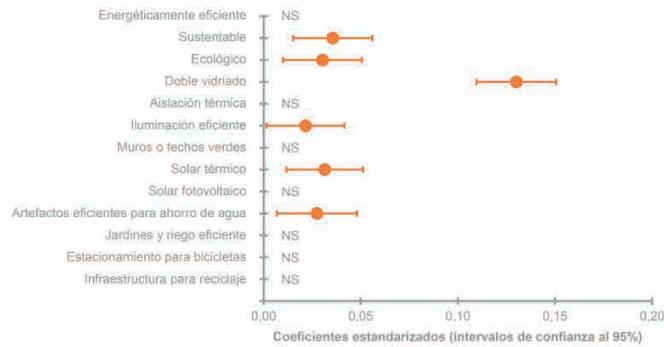
oferta por unidad de superficie (expresado en UF/m²)³ fue definido como la variable dependiente. La Tabla 1 muestra la presencia de los atributos de eficiencia energética y sustentabilidad según distintos rangos de precio para la muestra total en el período 2007-2014.

El resultado obtenido para el total de proyectos de la base de datos (N=3431) presenta una fotografía general de la importancia que cada uno de estos atributos posee en el contexto de la oferta inmobiliaria de departamentos para el período 2007-2014 (Figura 1). Los resultados indican que los atributos de “doble vidriado”, “iluminación eficiente”, “solar térmico” y “artefactos eficientes para ahorro de agua”, influyen efectivamente en el precio de oferta (destacándose el doble vidriado como una variable particularmente relevante), así como también otros asociados a las estrategias de promoción inmobiliaria para la construcción “verde”, tales como “sustentable” o “ecológico”. Sin embargo, la importancia relativa, así como el nivel de significancia estadística, de cada uno

de estos atributos va a variar de acuerdo al segmento de mercado que se analice. Esto significa que los atributos de sustentabilidad efectivamente pueden gobernar la formación de precios inmobiliarios, pero no de forma lineal a través de los distintos rangos de precio, sugiriendo con claridad la existencia de submercados de vivienda.

Por ejemplo, la relación de precio de suelo y características arquitectónicas en el rango menor a 1000 UF (40.000 USD) es tan ajustada – probablemente porque sus promotores no pueden permitir los sobrecostos de construcción aparejados – que ningún atributo de este tipo aparece como estadísticamente significativo. Sin embargo, por sobre este límite, algunos de estos atributos arquitectónicos empiezan a aparecer como relevantes, especialmente los asociados a la reducción de consumos de calefacción, electricidad, agua y agua caliente sanitaria, hasta un límite de 4000 UF (160.000 USD). Si seleccionamos el segmento entre 1000 y 2000 UF (40.000 – 80.000 USD), dentro de este rango de precios asociados a ingresos

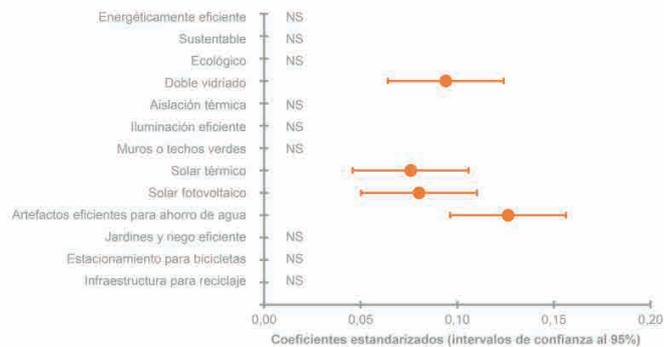
[3] La Unidad de Fomento (UF) es una unidad de cuenta utilizada en Chile, la cual se ajusta de acuerdo a la inflación y que es utilizada ampliamente para determinar los costos de construcción, valores de las viviendas y créditos hipotecarios. De acuerdo al Banco Central de Chile (2016), 1 UF = 40 USD



NS = No estadísticamente significativo

Coefficientes estandarizados de comunas estadísticamente significativas: Las Condes (0.57), Providencia (0.44), Vitacura (0.44), Lo Barnechea (0.34), Nuñoa (0.20), La Reina (0.12), Santiago (0.06), Maipú (-0.02), Pudahuel (-0.03), Renca (-0.03), San Bernardo (-0.03), Independencia (-0.04), El Bosque (-0.04), Quilicura (-0.04), Quinta Normal (-0.04), Conchalí (-0.05), Puente Alto (-0.06)

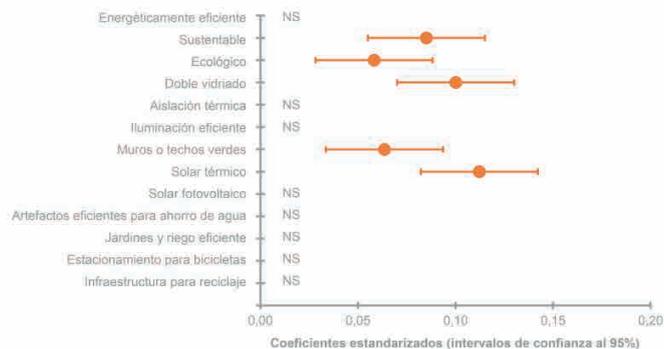
Figura 1. Coeficientes estandarizados obtenidos en la regresión múltiple ($R^2=0.75$) para el total de condominios de departamentos en Santiago para el período 2007-2014 (N=3431) de la base de datos del Portalinmobiliario.com con el precio de oferta por unidad de superficie (UF/m²) como variable dependiente



NS = No estadísticamente significativo

Coefficientes estandarizados de comunas estadísticamente significativas: Providencia (0.30), Estación Central (0.26), Macul (0.21), La Florida (0.19), Recoleta (0.16), Independencia (0.16), Quinta Normal (0.09), La Cisterna (0.08)

Figura 2. Coeficientes estandarizados obtenidos en la regresión múltiple ($R^2=0.55$) para el segmento de condominios de departamentos en Santiago entre las 1000 y 2000 UF (40.000 - 80.000 USD) para el período 2007-2014 (N=1238) de la base de datos del Portalinmobiliario.com con el precio de oferta por unidad de superficie (UF/m²) como variable dependiente



NS = No estadísticamente significativo

Coefficientes estandarizados de comunas estadísticamente significativas: Las Condes (0.57), Providencia (0.56), Nuñoa (0.27), Lo Barnechea (0.15), La Reina (0.07), Macul (-0.04)

Figura 3. Coeficientes estandarizados obtenidos en la regresión múltiple ($R^2=0.60$) para el segmento de condominios de departamentos en Santiago entre las 2000 y 4000 UF (80.000 - 160.000 USD) para el período 2007-2014 (N=1293) de la base de datos del Portalinmobiliario.com con el precio de oferta por unidad de superficie (UF/m²) como variable dependiente

medios, los atributos estadísticamente significativos (de mayor a menor importancia) son: "artefactos eficientes para ahorro de agua", "doble vidriado", "solar fotovoltaico" y "solar térmico" (Figura 2). Por otro lado, para el segmento inmediatamente superior, entre 2000 y las 4000 UF (80.000 - 160.000 USD), se conservan algunos atributos asociados a la eficiencia energética (doble vidriado y solar térmico), pero agregando otros vinculados a la promoción inmobiliaria "verde", poniendo en juego valoraciones y beneficios no financieros (Figura 3). Por sobre las 4000 UF (160.000 USD) los modelos pierden capacidad explicativa, por lo que el impacto de los atributos de sustentabilidad sobre el valor de los inmuebles se diluye. Esto puede entenderse por el hecho que en los altos rangos de precio, varios de estos atributos comienzan a formar parte del estándar constructivo esperable (por ejemplo, el doble vidriado), por lo que su capacidad diferenciadora disminuye. Al mismo tiempo, el argumento de reducción del consumo (gasto) en calefacción, electricidad o agua caliente sanitaria, asociado a varios de estos atributos, son particularmente atractivos en niveles de renta media, pero podrían no serlo tanto en sectores de renta alta. En consecuencia, no es trivial que en el rango de precios superior, sobre 8000 UF (320.000 USD), el único atributo estadísticamente significativo sea el de "ecológico", apelando a una dimensión más valórica de la sustentabilidad, tal como está descrito en Lippincott Mercer (2006) y DEFRA (2007), implicando una recompensa psicosocial para su nicho de mercado específico.

CONCLUSIONES

Este artículo aborda las dos perspectivas de estudio en la formación de los valores del suelo. Desde una perspectiva teórica, éste recibe valor a través de un mecanismo residual que parte del valor de los inmuebles que sobre él se ubican y luego descuenta los costes de producción (valor de uso). En cambio, desde la perspectiva de la oferta, el mecanismo es exactamente el contrario, es decir el valor de los inmuebles forman su valor al añadir los costes de producción edilicia al valor del suelo siendo, por ende, éste segundo el responsable del aumento de los precios (valor de cambio).

La evidencia aportada por los casos de estudio revela que el sentido de causalidad no es tan simple y que en realidad existe una interacción de tipo circular entre el valor atribuible a la edificación, y más particularmente a los atributos de calidad arquitectónica y el valor del suelo. En el caso de Nuñoa es claro cómo los condominios de departamentos que sustituyen a las viviendas unifamiliares originales producen, a través de su posicionamiento basado en atributos arquitectónicos orientados a grupos de ingresos medio-altos (p. ej., piscina, áreas verdes privadas, etc.), una revalorización sobre las viviendas vecinas (cuya adquisición por parte de los promotores se hace en calidad de suelo). Al mismo tiempo, ese mayor valor de dichas parcelas acaba produciendo que únicamente los condominios con los atributos arquitectónicos

anteriormente señalados y orientados a demandantes con cierto nivel adquisitivo sean viables. De esta manera se produce una causalidad circular que imbrica, hasta cierto punto, la localización (como elemento fundamental del valor del suelo) con las características arquitectónicas. Y es precisamente en dicha imbricación donde emana la verdadera formación de valores inmobiliarios, entendidos éstos ya no como los valores separados de la edificación y el suelo, sino como la interacción indisoluble de éstos: a cada localización corresponde una tipología edilicia que puede producir submercados y a cada combinación corresponde un valor.

En esta segunda línea ha ido el segundo de los trabajos empíricos aquí reportados que ha puesto en relación el precio marginal de los atributos arquitectónicos de sustentabilidad con la estratificación de precios de condominios de departamentos en Santiago. Cabe resaltar que en los últimos años, a pesar de la ausencia de una certificación energética obligatoria, la diferenciación inmobiliaria ha puesto énfasis en estas características arquitectónicas frente a las tradicionales basadas en el programa funcional, las áreas comunes o la calidad de las terminaciones. El estudio reportó que atributos como el doble vidriado, colectores solares térmicos, paneles fotovoltaicos o artefactos para el ahorro del agua efectivamente tienen un impacto positivo sobre el valor de los inmuebles. Pero dicho impacto no es uniforme a lo largo de los segmentos del mercado residencial: es nulo en los inmuebles más baratos, posiblemente porque sus promotores no pueden permitir los sobrecostos de construcción aparejados, y exiguo en los estratos medio-altos y altos, donde dichos atributos no representan una diferenciación inmobiliaria toda vez que están presentes en gran parte de las ofertas. El impacto es significativo en las viviendas de renta media, entre 1000 a 4000 UF (40.000 – 160.000 USD), en donde es posible que los costes de operación evitados, y – especialmente en el rango superior de este submercado – los beneficios no financieros asociados a menores impactos medioambientales estén jugando un papel a favor de la producción de viviendas promovidas como “verdes”. Este último aspecto es especialmente relevante para las viviendas más exclusivas en donde poseer viviendas bajo el atributo de “ecológico” podría suponer una recompensa psicosocial para su nicho de mercado.

En definitiva, nos encontramos frente a un cambio de paradigma de análisis del valor inmobiliario en dónde la relación dialéctica, entre valor del suelo y atributos arquitectónicos da la bienvenida estratificada a los atributos de sustentabilidad, cuyo protagonismo es previsible hasta que – por normativa o la propia masificación de la oferta – éstos sean uniformizados y por ende, no ejerzan efecto alguno en la diferenciación residencial. La identificación de la relevancia que pueden tener los distintos tipos de estos atributos para los distintos submercados (según estén orientados a una dimensión más funcional o valórica de la sustentabilidad) – como se han identificado en este artículo – representa una contribución para colaborar en la adopción de la construcción sustentable por parte del mercado.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo se ha realizado con el financiamiento de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica de Chile, CONICYT, a través del proyecto FONDECYT de Iniciación en Investigación N°11130556 “Análisis y posicionamiento de los atributos de eficiencia energética y sostenibilidad en el mercado inmobiliario residencial de Santiago”. También ha contado con el apoyo del Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS), Proyecto CONICYT/FONDAP 15110020.

REFERENCIAS

AGUIRRE, C. y MARCHANT, C.. Una mirada al consumidor inmobiliario. *En*: R. HIDALGO y C. DE MATTOS (eds.), Reconfiguración Metropolitana de Santiago. Santiago: Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2007.

AGUIRRE, C. y MARMOLEJO, C., 2010. Hacia un método integrado de identificación de subcentros a escala municipal: un análisis para la región metropolitana de Barcelona.[en línea] *ACE: Architecture, City and Environment*, 2010, vol. 5, no. 14, pp. 99-122. Disponible en: <<http://upcommons.upc.edu/revistes/handle/2099/9347>> Fecha de consulta: octubre 2016

BANCO CENTRAL DE CHILE, 2016. Indicadores diarios. Fecha de consulta: octubre 2016

BERTAUD, a y MALPEZZI, S. The spatial distribution of population in 48 world cities: Implications for economies in transition [en línea]. S.l.: The Center for Urban Land Economics Research. 2003. Disponible en: <http://www.bus.wisc.edu/realestate/documents/Complete_Spatial_Distribution_of_Population_in_50_World_Ci.pdf> Fecha de consulta: octubre 2008

BIO INTELLIGENCE SERVICE, LYONS, R. y IEEP, 2013. Energy performance certificates in buildings and their impact on transaction prices and rents in selected EU countries. Final Reports.[en línea], 19 april, 2013 no. European Commission (DG Energy), pp.158 <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20130619-energy_performance_certificates_in_buildings.pdf> Fecha de consulta: octubre 2016

BOURDIEU, P. Las Estructuras Sociales de la Economía. Buenos Aires: Manantial Editorial. 2012 ISBN 843396187X

BUSTAMANTE, W., ROZAS, Y., CEPEDA, R., ENCINAS, F. y MARTÍNEZ, P. Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos. 2009

CALDERA, A. Building Blocks for a Better Functioning Housing Market in Chile.[en línea] OECD Econo. S.l.: OECD Publishing. 2012 <http://www.oecd-ilibrary.org/economics/building-blocks-for-a-better-functioning-housing-market-in-chile_5k9fj3hgsvnh-en?crawler=true> Fecha de consulta: octubre 2016

- CCHC, 2016. Mercado Inmobiliario - Oferta Nacional y Gran Santiago. Indicadores [en línea]. Disponible en: <<http://www.cchc.cl/centro-de-informacion/indicadores/mercado-inmobiliario-oferta-nacional>> Fecha de consulta: octubre 2016
- CERIN, P., HASSEL, L.G. y SEMENOVA, N. Energy Performance and Housing Prices. *Sustainable Development*, vol. 22, (no. May): pp. 404-419. 2014.
- CLARK, C. Urban population densities. *Journal of the Royal Statistical Society*, vol. 114, pp. 490-496. 1951
- COLLADOS, E. y ARMIJO, G., 2008. Predicting the impacts of an energy refurbishing programme in Chile: More than energy savings. En: D. MUMOVIC y M. SANTAMOURIS (eds.), *A handbook of sustainable building design and engineering. An integrated approach to energy, health and operational performance of buildings*. First edit. S.I.: Earthscan Ltd., 2008.
- DEFRA. A framework for pro-environmental behaviours (report) [en línea]. London. 2007 < https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69277/pb13574-behaviours-report-080110.pdf> Fecha de consulta: octubre 2016
- DINAN, T.M. y MIRANOWSKY, J.A. Estimating the implicit price of energy efficiency improvements in the residential housing market: A hedonic approach. *Journal of Building Economics*, vol. 25, (no. 1), pp. 52-67. 1989
- ENCINAS, F., Atributos de eficiencia energética y sustentabilidad en el mercado residencial de Santiago de Chile: ¿Cómo agregarle valor al producto inmobiliario? . En: Presentación en Coloquio de Economía Urbana y Valoraciones, Máster Universitario en Estudios Avanzados en Arquitectura, Línea Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica, Universidad Politécnica de Cataluña, (Barcelona, 2015)
- FUERST, F., MCALLISTER, P., NANDA, A. y WYATT, P. Does energy efficiency matter to home-buyers? An investigation of EPC ratings and transaction prices in England. *Energy Economics* [en línea], vol. 48, pp. 145-156. Disponible en: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140988314003296>> Fecha de consulta: octubre 2016
- HARVEY, D., 2007. Espacios del capital: hacia una geografía crítica. Primera ed. Madrid: Akal Editorial. 2007. ISBN 9788446020646.
- HARVEY, D. El enigma del capital y las crisis del capitalismo. Primera ed. Madrid: Akal Editorial. 2012. ISBN 978-84-460-3544-2.
- HARVEY, D. Ciudades rebeldes. Del derecho a la ciudad a la revolución urbana. Primera ed. Madrid: Akal Editorial. 2014a
- HARVEY, D. Urbanismo y desigualdad social. 1º reimpre. S.I.: Siglo XXI de España Editores, S.A. 2014b
- HYLAND, M., LYONS, R.C. y LYONS, S., 2013. The value of domestic building energy efficiency - evidence from Ireland. *Energy Economics* [en línea], vol. 40, pp. 943-952. Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2013.07.020>> Fecha de consulta: octubre 2016
- JANSEN, S.J.T. Chapter 5. The Multi-attribute Utility Method. En: S. JANSEN, H. COOLEN y R. GOETGELUK (eds.), *The Measurement and Analysis of Housing Preference and Choice*. S.I.: 2011, s.n., pp. 101-125.
- LANCASTER, K.J. A New Approach to Consumer Theory. *Journal of Political Economy*, vol. 74, (no. 2): pp. 132. 1966.
- LIPPINCOTT MERCER, 2006. Serving the climate-change-conscious consumer. Summary report based on consumer research in the UK and US. . S.I.: Lippincott Mercer, The Climate Group
- MARMOLEJO, C. y ECHEVERRÍA. 2015. Does urban subcentres influence housing prices? An analysis of the Metropolitan Region of Barcelona. En: Proceedings of the 22nd Annual Conference of the European Real Estate Society. (Estambul: s.n.)
- MARMOLEJO, C., SKARMETA, E. y AGUIRRE, C. ¿Los condominios verticales benefician por igual al valor de sus inmuebles vecinos? Un análisis para Ñuñoa, Santiago de Chile. En: *ACE: Architecture, City and Environment*, vol. 9, no. 27, pp. 69-96. 2015
- MCDONALD, J.F., 1989. Econometric studies of urban population density: a survey. *Journal of Urban Economics*, vol. 26, pp. 361-385. 1989
- MILLS, E. Studies in the Structure of the Urban Economy. Londres: John Hopkins Press. 1969
- MILLS, E. y HAMILTON, B.W. Urban Economics. Studies in the Structure of the Urban Economy. Glenview: Scott Foresman, 1984
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO, 2015. Informe Técnico Sistema de Calificación Energética de Viviendas. [en línea]. S.I.: Disponible en: <<http://calificacionenergetica.minvu.cl/estadisticas-de-la-cev/>> Fecha de consulta: octubre 2016
- OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION, 2003. Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings. 2003. S.I.: s.n.
- RICARDO, D. On the Principles of Political Economy and Taxation. Londres: John Murray. 1819. ISBN 1596059273.
- SCHMITZ, A. y BRETT, D.L. Real Estate Market Analysis. Washington D.C.: The Urban Land Institute. 2001
- VON THÜNEN, J. Der Isolierte Staat (The Isolated State). Hamburgo: Perthes. 1826. ISBN 3863830091.



ENSINO DE PROJETO ARQUITETÔNICO COM ENFOQUE AMBIENTAL: A EXPERIÊNCIA DE UMA DISCIPLINA DE PROJETO INTEGRADO DE ARQUITETURA E CONFORTO TÉRMICO.

TEACHING ARCHITECTURAL DESIGN WITH AN ENVIRONMENTAL FOCUS: AN EXPERIENCE WITH AN INTEGRATED ARCHITECTURAL DESIGN AND THERMAL COMFORT SUBJECT.

AMILCAR JOSÉ BOGO

Universidade Regional de Blumenau - FURB. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Laboratório de Conforto Ambiental - LACONFA/Grupo de Estudo e Pesquisa do Habitat - GEPHabitat. Blumenau, Brasil
bogo.amilcar@gmail.com

KEILA TYCIANA PEIXER

Universidade Regional de Blumenau - FURB. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Laboratório de Conforto Ambiental - LACONFA/Grupo de Estudo e Pesquisa do Habitat - GEPHabitat. Blumenau, Brasil
keilapeixer@gmail.com

DANIELA KOBALL

Universidade Regional de Blumenau - FURB. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Laboratório de Conforto Ambiental - LACONFA/Grupo de Estudo e Pesquisa do Habitat - GEPHabitat. Blumenau, Brasil
daniela9814@hotmail.com

RESUMO

Neste artigo são apresentados os resultados da aplicação de estratégias de conforto ambiental térmico na prática de ensino de projeto de arquitetura na disciplina de ateliê iv – projeto integrado de arquitetura, urbanismo e conforto ambiental térmico, da 4ª fase do curso de arquitetura e urbanismo da universidade regional de Blumenau – furb, em Blumenau SC, Brasil. Foi identificada a importância atribuída aos valores ambientais para garantir o conforto térmico interior no projeto arquitetônico residencial desenvolvido por alunos após as atividades em aula, como explicações teórico-expositivas, estudos de caso, visitas em campo, exemplos de estratégias de projeto, assessorias coletivas e individuais. Os valores ambientais priorizados para a aplicação de estratégias de conforto térmico no projeto de arquitetura foram a) adaptação à topografia; b) adaptação à vegetação local existente; c) orientação solar dos ambientes; d) controle do excesso de sol nas aberturas; e) ventilação natural; f) aproveitamento dos visuais e da paisagem natural; g) proteção contra chuva e vento para as fachadas; h) identificação da orientação solar nas fachadas. Os resultados indicaram que parte dos projetos não atribuíram a devida importância para alguns valores ambientais, como em relação à vegetação, controle do excesso de sol, ventilação natural, e erros de identificação da orientação solar nas fachadas. Os valores ambientais de adaptação à topografia, aproveitamento das visuais/paisagem, foram os de melhor resposta de projeto de arquitetura, porém não sendo os mais importantes para garantir condições de equilíbrio no conforto térmico residencial. Como exercício de ensino de projeto integrado de arquitetura, perceberam-se melhorias na atenção aos valores ambientais (com foco no conforto térmico) no processo de concepção de projeto, quando comparado com disciplinas isoladas de projeto de arquitetura.

Palavras-chave

ensino de projeto de arquitetura, ensino de conforto ambiental, conforto térmico.

ABSTRACT

This paper presents the results of the application of environmental comfort strategies in the teaching of architectural design in the subject atelier iv - integrated architecture, urban planning and thermal comfort, which is in the 4th stage of the architecture and urban planning major at Universidade Regional de Blumenau – FURB (Blumenau Regional University) in Blumenau, Santa Catarina, Brazil. The importance given to environmental values was identified to ensure indoor thermal comfort in the residential architectural designs developed by students after classroom activities such as theoretical explanations and presentations, case studies, field visits, examples of design strategies and collective and individual advice. The results indicate that some of the projects did not give due importance to some environmental values such as vegetation, control of excessive sunlight, natural ventilation, and misidentification of solar orientation on facades. The physical-environmental values of adjusting to topography and use of visual and natural landscape were the best architectural design response, although they were not the most important to guarantee balanced conditions in residential thermal comfort. As an exercise in the teaching of integrated architectural design, improvements in attention to environmental values (focusing on thermal comfort) in the design process were noticed when compared to isolated architectural design subjects.

Keywords

teaching architectural design, teaching environmental comfort, thermal comfort.

INTRODUÇÃO

No desenvolvimento de um projeto arquitetônico, interação diferentes informações e conhecimentos, que contribuem para uma síntese formal representada pela edificação projetada. Aspectos legais, programáticos, custos, funcionalidade, conforto ambiental, técnicas e sistemas construtivos, além de valores estéticos e culturais são algumas das informações no desenvolvimento de uma proposta arquitetônica.

Na prática cotidiana de projeto de arquitetura, por diversos motivos, parte destas informações não são geradas, são negligenciadas a partir de uma postura projetual reducionista de abrangência, visando menor complexidade do projeto, se resumindo ao atendimento de aspectos como requisitos legais, programa, custos funcionalidade, morfologia e estética. Neste sentido, questões como relação da edificação com a natureza, com o clima local e o conforto ambiental dos usuários, são abordadas de forma simplória ou não tratadas como importantes para o projeto.

Neste artigo é apresentada uma avaliação da importância atribuída do enfoque ambiental no desenvolvimento de projeto de arquitetura para uma habitação unifamiliar, realizado pelos estudantes da quarta fase do Curso de Arquitetura e Urbanismo da FURB – Universidade Regional de Blumenau, disciplina esta que tem como base a integração entre Projeto de Arquitetura e Conforto Ambiental térmico.

As abordagens de projeto de arquitetura e sua relação com a natureza tem origens na arquitetura há tempos remotos, desde a arquitetura vernacular adaptada ao meio físico-climático ao qual se inseria, até a consideração de aspectos de conforto ambiental no processo de arquitetura oficial, como as premissas vitruvianas de projeto relacionadas ao clima (Del Rio, 2000; The European Commission, Architects Council of Europe e Energy Research Group, 1999).

No entanto, em certo momento histórico e em algumas posturas e linguagens arquitetônicas, a relação edifício, natureza e clima foi desconsiderada, focando o projeto de arquitetura em abordagens funcionais, morfológicas e estéticas.

No resgate de uma relação edificação e clima, conforto ambiental e natureza, surgiram linguagens e expressões arquitetônicas como arquitetura orgânica (Hoffmann, 1995), bioclimática (Camous e Watson, 1986; Izard, 1983; Olgyay, 1998; Serra, 1989), solar (Lacombe e Ferreiro, 1991; Mazria, 1985), verde (Crosbie, 1994), ecológica (Butera, 2009; Gauzin-Müller, 2002) e atualmente, arquitetura sustentável (Reyes, Baraona Pohl e Pirillo, 2007; Keeler e Bill, 2010; Roaf, Fuentes e Thomas-Rees, 2014).

A própria existência destas denominações denota que existe uma outra arquitetura, com pouca relação com a natureza, o clima e o conforto ambiental. Desde o final do século passado e mais intensamente agora no século XXI, como a agenda da sociedade reconhece os valores ambientais como inerentes a esta sociedade atual, aumentaram as preocupações com

uma arquitetura focada no respeito à natureza, numa boa relação com o clima e com atenção ao conforto ambiental dos usuários.

Sobre a integração do conforto ambiental térmico no projeto de arquitetura, (Bogo, 1999) em um trabalho acerca de um Parecer de Conforto Ambiental no Projeto de Arquitetura em desenvolvimento no Trabalho de Conclusão – TCC de Curso de Arquitetura e Urbanismo, identificou como os principais problemas nos projetos os referentes a falta de proteção solar nas aberturas (56% das recomendações emitidas para os projetos de TCC), a adequação da ventilação e iluminação natural em sanitários (7,3% das recomendações), a redução dos ganhos de calor solar em coberturas zenitais (5,7% das recomendações), a melhoria da ventilação natural para resfriamento e requisitos higiênicos (5,7% das recomendações), a adoção de proteção contra o vento e/ou chuva de inverno (3,2%), entre outras recomendações.

Neste sentido, também no ensino de projeto de arquitetura fala-se atualmente em projeto integrado, que busca um equilíbrio intenso entre as variáveis do projeto, a fim de obter uma edificação sustentável, orientando a tomada de decisões referente ao conforto ambiental térmico, a utilização dos recursos naturais e à qualidade ambiental (Keeler e Bill, 2010).

METODOLOGIA

Os projetos foram desenvolvidos em duplas ou individuais, em regime de Ateliê de Projeto Integrado de Arquitetura e Conforto Térmico, sob a orientação de 3 professores arquitetos, objetivando atingir os objetivos da temática habitação e meio ambiente, com um projeto de residência unifamiliar com boas relações com a natureza, clima e conforto ambiental térmico, entre outros quesitos.

Destes 3 professores arquitetos, somente um possui formação aprofundada na área de conforto ambiental, ficando mais a seu encargo aquelas abordagens de projeto de arquitetura com relação ao meio ambiente, além das demais de projeto. Os demais 2 professores, com alguma sensibilidade ao tema habitação e meio ambiente, procuraram ratificar estas abordagens sem no entanto “ir muito a fundo” ou se contrapor nestas questões, se atendo mais a questões gerais de projeto de arquitetura. O professor arquiteto com formação aprofundada na área de conforto ambiental, também atua na disciplina integrada de Conforto Ambiental Térmico, da mesma fase.

Considerando que cada resposta é única e corresponde à um único lugar, associado à um determinado perfil de usuários, buscou-se orientar os alunos para que suas escolhas fossem conscientes acerca de sua responsabilidade e das consequências de seus projetos sobre seus usuários, seu entorno próximo e, enfim sobre o sistema ecológico global e também sobre os recursos à nossa disposição e gerações futuras (Jourda, 2013).

Neste sentido, entende-se que para ser ambientalmente sustentável as propostas deveriam ser adaptadas ao clima local, ao terreno e entorno, além das características e peculiaridades dos usuários. De acordo com (Roaf, Fuentes e Thomas-Rees, 2014) a compreensão da relação dinâmica desta tríplice entre as pessoas, o local onde vivem e o clima, possibilita alcançar propostas que garantem condições de conforto interior térmico de uma edificação, que respeita o local de implantação e o baixo consumo de energia.

O desenvolvimento das propostas de projeto de arquitetura contemplou análises de contexto urbano, de contexto físico-climático-ambiental, estudos iniciais (programa de necessidades, pré-dimensionamento, fluxograma), premissas bioclimáticas e sustentáveis, partido geral arquitetônico, estudo preliminar e anteprojeto final.

Na parte do contexto físico-climático-ambiental, foi realizada visita in loco no terreno, visando percepção do local e sensibilização quanto as peculiaridades do lugar. Nesta análise, foram considerados os elementos naturais do local segundo (Snyder e Catanese, 1984), no caso: clima, vegetação, topografia, solo, águas, vida animal.

A partir de explicações orais-expositivas, assessorias e análise de estudo de casos, apresentou-se aos estudantes um conjunto de boas práticas projetuais que deveriam ser experimentadas nas suas propostas. As mesmas fazem parte do processo de projeto de arquitetura, no caso identificadas como diretrizes bioclimáticas e sustentáveis, visando focar os projetos na atenção ao conforto térmico e em valores ambientais, na busca de melhor integração ao meio físico natural (topografia, vegetação, permeabilidade do solo, visuais/paisagem), e de valores que estimulem a urbanidade (ambiência urbana/sociabilidade; humanização).

Estas diretrizes citadas são adiante apresentadas:

1. Ambiência urbana/sociabilidade: projetar espaços de convivência entre o público e o privado, com alargamento de passeios, refúgios, micro-praças, acessos recuados, etc.
2. Humanização: a prioridade deve ser do pedestre, depois ciclista, depois transporte público e em último lugar do automóvel (em percursos curtos, de baixa velocidade);
3. Topografia: aproveitamento da topografia natural do terreno, evitando ao máximo cortes, aterros;
4. Vegetação: aproveitar ao máximo a vegetação arbórea existente e prever recuperação da mesma em outras áreas, principalmente no topo de morros, encostas íngremes, fundos de vale, áreas ao longo de cursos de águas;
5. Permeabilidade do solo: reduzir ao máximo as áreas pavimentadas, implantando gramíneas, forrageiras, arbustos e árvores nas demais áreas;
6. Visuais/paisagem: explorar as melhores visuais e/ou paisagens;

7. Orientação solar: aproveitar a insolação benéfica das primeiras horas da manhã (até ~ 9h) e se proteger da insolação nas horas quentes (manhã e tarde);

8. Controle do excesso de sol: projetar Elementos de Controle Solar (ECS) do tipo móveis (venezianas, persianas externas, painéis opacos, painéis perfurados, etc.) e/ou móveis e fixos (beiral, varanda, sacada, marquise, brises, treliçados, elementos vazados, etc.);

9. Ventilação: maximizar a ventilação natural a partir da ventilação cruzada (horizontal) em ambientes com 2 janelas e por efeito chaminé (vertical) em ambientes abertos tipo mezanino, caixa de escada, etc.;

10. Tratamento paisagístico: trabalhar com gramíneas, forrageiras, arbustos e árvores, privilegiando espécies nativas, recompondo paisagens naturais, alternado áreas sombreadas e expostas ao Sol.

Na parte do controle do excesso de Sol nas aberturas, foram desenvolvidos estudo de casos mostrando a diversidade tipológica e geométrica possível, em linguagens arquitetônicas das mais diversas, no sentido de criar um repertório arquitetônico para os alunos. Foram apresentados 17 tipos de ECS, móveis e fixos, com possibilidade de uso nos projetos: marquise; persiana externa; veneziana; pergolado; beiral; brise vertical; sacada; elemento vazado; brise horizontal; laje em balanço; telas/toldos brise conjugado (h+v); treliçado; painel opaco; varanda; grelha; painel perfurado.

Junto a isto, foram definidos um conjunto de critérios de avaliação para o desenvolvimento das propostas de projeto de arquitetura a ser desenvolvidas pelos estudantes, com base nas Premissas Bioclimáticas e Sustentáveis.

Objetivamente, nos critérios ambientais de avaliação, foram definidos a atenção do projeto de arquitetura quanto a:

- a) Adaptação à topografia, com cortes de até 1,5m; b) adaptação à vegetação local existente, com identificação das árvores existentes no terreno; c) orientação solar dos ambientes (layout dos setores íntimo, social e serviço) visando melhor insolação; d) controle do excesso de Sol nos ambientes com uso de ECS nas aberturas; e) ventilação natural cruzada nos ambientes de permanência e cozinha, banheiros; f) aproveitamento dos visuais, da paisagem natural; g) proteção contra chuva e vento para as fachadas; h) identificação da orientação solar identificação de cada fachada do projeto de arquitetura.

As 31 propostas de projeto de arquitetura realizadas em duplas e individual, foram desenvolvidas para um terreno em declive (15 x 30 m), com aproximadamente 450,00 m², localizado em uma rua residencial sem saída, em bairro próximo (2,5 km) ao centro da cidade, numa altitude média de 40 m.

Tabela 1. Rigor térmico segundo as Tabelas de Mahoney para Blumenau. Fonte: Bogo (2014).

MESES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Dia	Q	Q	Q	Q/C	C	C	C	C	C	Q/C	Q	Q
Noite	Q/C	Q/C	Q/C	C	F	F	F	F	F	F/C	Q/C	Q/C

Legenda:

Q = maior probabilidade de sensação de calor; C = maior probabilidade de sensação de conforto; F = maior probabilidade de sensação de frio

Tabela 2. Dados climatológicos para Blumenau.

Rigor Climático Diurno: Q calor; F frio. 12 períodos do ano	ALT (m)	Temperatura Anual do Ar (°C)					UR média anual (%)	Insolação média (horas/mês)		Ventos				Chuvas média anual (mm)
		Med	Max abs	Min abs	Méd máx	Méd mín		VER (dez)	INV (jun)	Velocidade		Direção Dominante		
										média		n° meses ano		
		m/s		km/h		1 ^a		2 ^a						
6 Q = Calor	21	20,1	37,8	4,5	27,0	16,1	84	161	123	1,18	4,26	NE (2)	—	1459

Este terreno para o desenvolvimento do projeto residencial, foi escolhido pela situação topográfica (declive) e pela presença de árvores remanescentes (massa arbórea junto a metade para os fundos), além de visuais urbanos interessantes.

O programa de necessidades previsto definia uma área construída de aproximadamente 120 a 150 m², com taxa de ocupação de 60%, coeficiente de aproveitamento igual 1,2, recuo frontal de 4 m, conforme a legislação municipal.

Na parte de atenção ao conforto ambiental no projeto com relação ao clima local, foram apresentados os dados caracterizadores desta questão, como adiante citados:

O clima de Santa Catarina é definido segundo Köppen como Mesotérmico (C), úmido (f), de verão quente (a) encontrado no litoral, vales e Oeste; e de verão fresco (b), nas zonas mais elevadas da serra e do planalto. Assim, predominam no estado os climas Cfa - com verão quente e Cfb - com verão fresco (Santa Catarina, 1991).

Segundo a NBR 15220-3 Norma Brasileira sobre Desempenho Térmico de Edificações, no documento Parte 3 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social, Blumenau se enquadra na Zona Bioclimática 3, (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005).

Logo, para Blumenau, localizada no centro do Vale do Itajaí, numa altitude de 21 m e a cerca de 60 km do litoral, temos o tipo climático Cfa - Mesotérmico úmido com verão quente, (Bogo, 2014).

O rigor térmico de dia e noite com base na aplicação das Tabelas de Mahoney para a cidade é adiante apresentado na tabela 1, identificando segundo (Bogo, 2014) um rigor térmico diurno de 6 períodos anuais de calor (Q).

Também na disciplina integrada (Conforto Ambiental Térmico) com a de Ateliê IV – Projeto Integrado, foram apresentadas as exigências da norma brasileira NBR 15220-3 (ABNT, 2005), acerca do tema.

No que se refere a Zona Bioclimática 3 que inclui Blumenau, temos as seguintes informações:

Diretrizes construtivas:

Sombreamento das aberturas - Permitir Sol durante o período frio
 Aberturas médias para ventilação - Parede externa leve e isolada
 Cobertura leve e isolada

Estratégias de condicionamento térmico passivo:

Verão – Ventilação cruzada;

Inverno – Aquecimento solar da edificação; vedações internas pesadas (inércia térmica);

De acordo com Bogo (2014), temos na tabela 2 adiante os seguintes dados de Blumenau

Sobre a caracterização física do local do projeto desenvolvido, adiante na figura 1 é apresentada imagem da planta topográfica do terreno, apresentando a rua em aclave, sem saída (rua Herman Eckelberg, bairro Vila Nova), com uso residencial unifamiliar predominante.

O programa e a legislação conduziam a propostas de arquitetura com possibilidades de menor ocupação no terreno, maior aproveitamento dos atributos naturais do local, como vegetação existente, insolação, ventos, visuais, topografia natural, entre outros.

RESULTADOS

Os principais resultados desta avaliação identificaram as seguintes situações para cada um dos critérios ambientais de projeto:

a) Adaptação à topografia, com cortes de até 1,5m: 84% trabalhos seguiram esta diretriz; mesmo os demais 16%, trabalharam com cortes/aterros da ordem de 2 m;

b) Adaptação à vegetação local existente, com identificação das árvores existentes no terreno: existiam 7 árvores no local. Os projetos apresentados identificaram um número diferente do existente, desde 3 até 7 árvores, inclusive em locações diferenciadas (diferente da existente no local). 57% trabalhos identificaram 6 árvores, numa situação majoritária das propostas; 10% dos trabalhos identificaram apenas 3 árvores e 19% apenas 4 árvores. No entanto, em 14% dos trabalhos, além da vegetação existente, foi previsto ampliação da arborização no terreno, com total de 10 a 15 árvores;

c) Orientação solar dos ambientes: 38% dos 31 trabalhos seguiram esta diretriz com maior eficiência, com setor íntimo com aberturas voltadas para a insolação matutina. Outros 62% dos trabalhos apresentaram situações parciais, com alguns destes ambientes do setor íntimo em orientações solares variáveis, em situações de admissão excessiva de calor solar nas fachadas (ambientes mais quentes), mesmo com a adoção de algum tipo de proteção solar.

d) Controle do excesso de Sol nos ambientes com uso de ECS nas aberturas – móveis e fixos: 42% dos trabalhos seguiram esta diretriz adequadamente. Entretanto 58% dos trabalhos não projetaram aberturas com ECS móveis para quartos, salas, escritórios e similares.

Dos dezessete (17) tipos de ECS, móveis e fixos apresentados aos estudantes nas explicações e assessorias, os mais adotados nos projetos foram as persianas externas, venezianas, brises diversos, marquises, varandas ou sacadas e elementos vazados, ou seja, apenas uma parte da diversidade tipológica existente.

e) Ventilação natural: as propostas de projeto englobavam cerca de 10 ambientes internos na residência unifamiliar. Apenas em 33% das propostas de projeto foi previsto a ventilação natural cruzada para um mínimo de 5 ambientes ou mais. Em 67% das propostas foi prevista ventilação natural em apenas 1 a 3 ambientes;

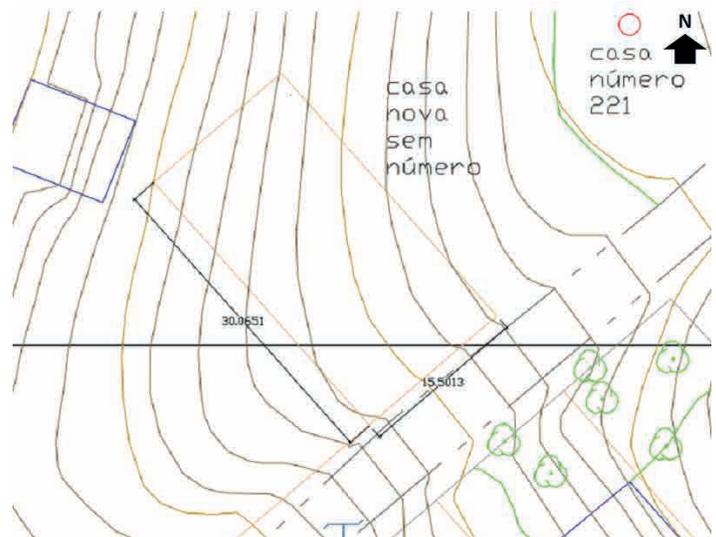


Figura 1. Imagem da planta topográfica da Prefeitura Municipal de Blumenau – PMB com destaque para o terreno (15 x 30 m). Escala original 1/500. Fonte: PMB.



Figura 2. Imagem aérea do Google Maps com destaque para o terreno e áreas próximas com vegetação remanescente. Escala original 1/1000. Fonte: Google maps.



Figura 3. Vista do terreno a partir da parte lateral para sentido NE e vegetação arbórea no lado esquerdo da foto. Fonte: Acervo dos autores.

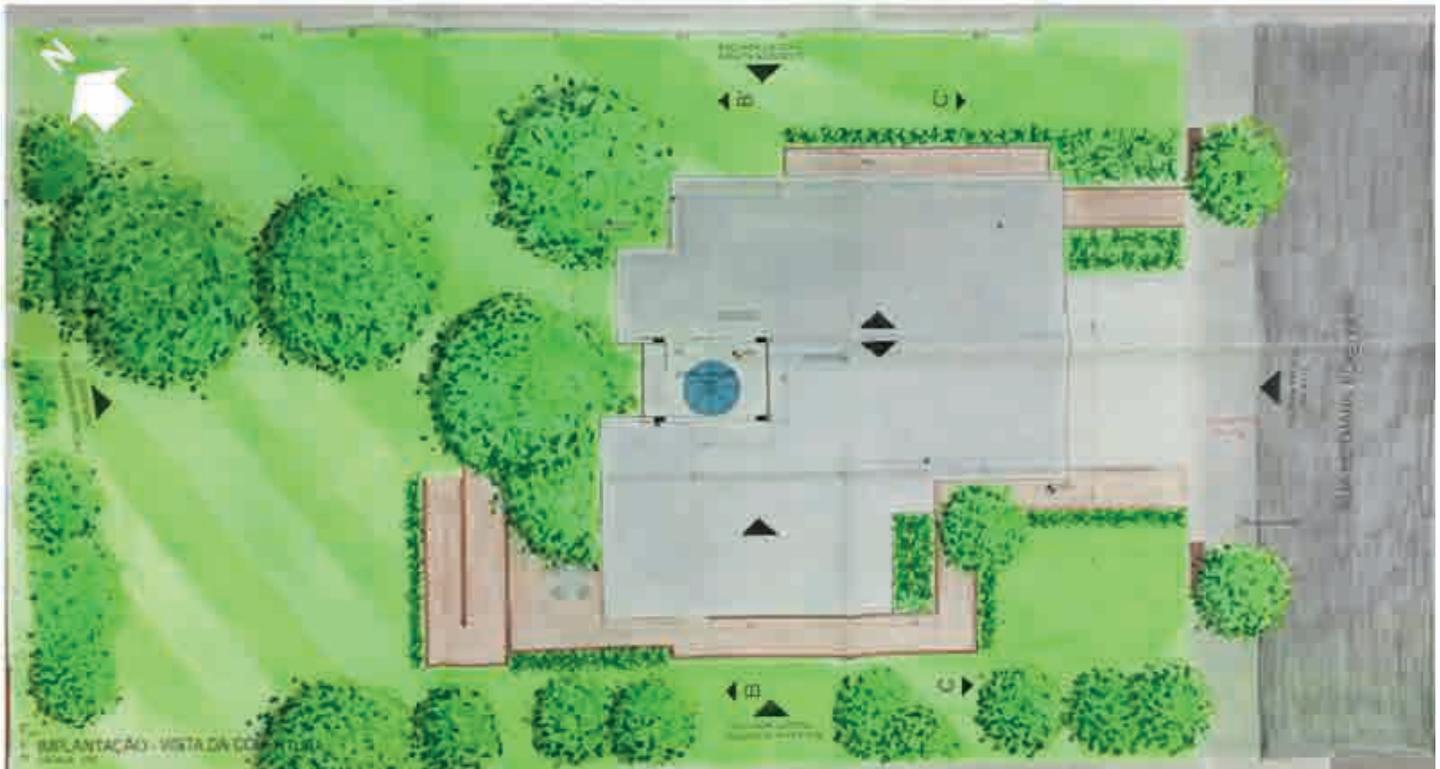


Figura 4. Imagem da planta de implantação de uma das residências projetadas com maior atenção aos valores ambientais e de conforto ambiental.
 Fonte: Desenho dos autores.

f) Aproveitamento dos visuais, da paisagem natural: 97% dos trabalhos seguiram esta diretriz, a partir da exploração do visual/paisagem interessante para os fundos do terreno;

g) Proteção contra chuva e vento para as fachadas: 58% trabalhos seguiram este critério em grande parte. Outra parte (42%) seguiram uma estética de uma arquitetura contemporânea despojada, sem marquises, beirais, varandas, sacadas, com potenciais problemas futuros de patologias construtivas nas paredes devido ao excesso de Sol, chuva e umidade.

h) Identificação da orientação solar nas fachadas do projeto: 46% das propostas identificaram as orientações solares de forma incorreta seja para uma ou mais fachadas. No entanto, 54% dos trabalhos identificaram de forma correta a orientação solar de cada fachada.

Adiante são apresentadas nas figuras 4, 5 e 6 algumas imagens referentes aos projetos de arquitetura desenvolvidos com atenção para os valores ambientais e de conforto ambiental.

CONCLUSÕES

Referente à importância atribuída do enfoque ambiental e de conforto ambiental térmico no desenvolvimento de projeto de arquitetura residencial unifamiliar, observou-se que uma parte das propostas desenvolvidas pelos alunos não atribuíram a devida importância para a presença de vegetação no terreno.

Também observaram-se problemas relacionados ao controle do excesso de Sol nos projetos, seja com aberturas em ambientes de permanência voltadas para situações de calor solar vespertino ou ausência de elementos de controle solar – ECS do tipo móveis para as aberturas.

Nesta questão do controle solar nas aberturas, observou-se uma pouca disposição inicial por parte dos alunos no uso de ECS móveis, como venezianas, persianas externas, mesmo sendo estes tipos com flexibilidade para melhor atender as necessidades de verão e inverno. Já ECS do tipo marquises, varandas/sacadas, elementos vazados, são aceitos pelos alunos com maior facilidade.

A ventilação natural cruzada não foi implementada adequadamente na maioria dos trabalhos, para grande parte dos ambientes; erros de identificação da correta orientação solar das fachadas também ocorreram em boa parte dos trabalhos, refletindo falta de compreensão dos fenômenos de insolação sobre o terreno.

Valores físico-ambientais como adaptação a topografia, aproveitamento das visuais/paisagem, foram os de melhor resposta de projeto de arquitetura. No que se refere a topografia, em vista de constantes desastres naturais relacionadas a chuva e deslizamentos na região e na cidade de Blumenau, parece haver maior compreensão das preocupações neste sentido.

Como exercício de ensino de Projeto Integrado de Arquitetura, perceberam-se melhorias na atenção aos valores ambientais (e de conforto ambiental térmico) no processo de concepção de projeto, quando comparado com disciplinas de ensino de Projeto isoladas, sem conexões efetivas com outras exigências da arquitetura.

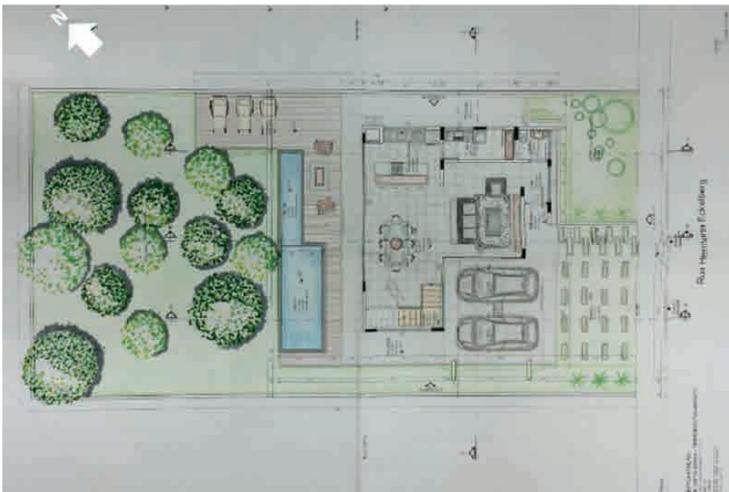


Figura 5. Imagem da planta de implantação de outra das residências projetadas com maior atenção aos valores ambientais e de conforto ambiental, com destaque para área de lazer (deck e piscina) voltados para os fundos do terreno com a vegetação existente. Fonte: Desenho dos autores.



Figura 6. Imagem da fachada lateral nordeste de uma das residências projetadas com soluções arquitetônicas de controle solar – ECS nas aberturas: varanda, persianas externas, brise, marquise. Fonte: Desenho dos autores.

Uma das estratégias-chave para a integração dos conteúdos de conforto ambiental na prática projetual do ensino reside na figura de um professor arquiteto, com formação aprofundada em conforto ambiental e atuação tanto na disciplina de Conforto como na de Projeto Integrado. Esta situação é fundamental, pois com a incorporação dos requisitos ambientais e de conforto, aumenta a complexidade do projeto de arquitetura, numa tendência de desejo de simplificação por parte do aluno, em situação contrária ao aprimoramento do projeto visando o atendimento das questões ambientais e de projeto.

Outras abordagens necessárias a ser incorporadas na disciplina se referem à definição dos materiais e sistemas construtivos da envolvente construída (cobertura e fachadas), no que se refere a transmitância e capacidade térmica, atualmente já normatizadas no Brasil. Abordagens complementares de conforto luminoso e acústico não foram objetivo deste estudo na disciplina de Ateliê IV, pois são previstas em outras disciplinas da matriz curricular.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

BOGO, Amílcar José. Uma Experiência de Integração Disciplinar em Trabalhos de Conclusão de Curso de Arquitetura e Urbanismo: Parecer de Conforto Ambiental no Projeto Arquitetônico. In: II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído e V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1999, Fortaleza CE. II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído e V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1999.

BOGO, Amílcar José. Clima e arquitetura em Blumenau. Blumenau: FURB, Laboratório de Conforto Ambiental, 2014.

BUTERA, Federico M. Da caverna à casa ecológica: história do conforto e da energia. 1ª ed. São Paulo: Nova Técnica Editorial, 2009.

CAMOUS, Roger e WATSON, Donald. El hábitat bioclimático: de la concepción a la construcción. Naucalpan: Gustavo Gili, 1986.

CROSBIE, Michael J. Green architecture: a guide to sustainable design. Rockport: Rockport Publishers, 1994.

DEL RIO, Vicente. A criatividade e os ventos dominantes na arquitetura. Dynamis: Revista tecno-científica, Blumenau, jul./set. 2000, vol. 8, n.º 32 - parte I, p. 87-108.

GAUZIN-MÜLLER, Dominique. Arquitectura ecológica. Barcelona: GG, 2002.

HOFFMANN, Donald. Understanding Frank Lloyd Wright's Architecture. New York: Dover Publications Inc., 1995.

IZARD, Jean-Louis. Arquitectura bioclimática. 2ª ed. México: Gustavo Gili, 1983.

JOURDA, Françoise-Hélène. Pequeno manual do projeto sustentável. São Paulo: Gustavo Gili, 2013.

KEELER, Marian e BILL, Burke. Fundamentos de edificações sustentáveis. Porto Alegre: Bookman, 2010.

LACOMBA, Ruth e FERREIRO, Héctor. Manual de arquitectura solar. México: Trillas, 1991.

MAZRIA, Edward. El libro de la energía solar pasiva. 2ª ed. México, D. F.: Gustavo Gili, 1985. (Tecnología y arquitectura). Tradução de: The passive solar energy book.

OLGYAY, Víctor. Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Gustavo Gili, 1998. Tradução de: Design with climate.

REYES, César; BARAONA POHL, Ethel e PIRILLO, Claudio. Arquitectura sostenible. Valencia: Pencil, 2007.

ROAF, Sue; FUENTES, Manuel e THOMAS-REES, Stephanie. Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável. Porto Alegre: Bookman, 2010.

SANTA CATARINA. Atlas escolar de Santa Catarina. Florianópolis: SEPLAN, 1991.

SERRA, Rafael. Clima, lugar y arquitectura. [s.l.]: Gala, 1989.

SNYDER, James C. e CATANESE, Anthony James. Introdução à arquitetura. Rio de Janeiro: Campus, 1984.

THE EUROPEAN COMMISSION; ARCHITECTS COUNCIL OF EUROPE e ENERGY RESEARCH GROUP. A green Vitruvius: principles and practice of sustainable architectural design. London: James E James, 1999.