

V4  
N1

HS



Revista  
Habitat Sustentable  
ISSN 0719 - 0700 / Vol. 4 N° 1 / junio 2014

V4N1



UNIVERSIDAD DE CHILE

REVISTA HABITAT SUSTENTABLE

JUNIO 2014

## EDITORIAL

Desde el sur del mundo y en periodo de solsticio de invierno, lanzamos con mucho orgullo un nuevo número de la revista Hábitat Sustentable que recoge los avances de las distintas disciplinas en materias que apuntan hacia una mayor sustentabilidad del ambiente construido en el contexto Iberoamericano. El número actual comienza con dos artículos que discuten desde distintas perspectivas, el importante rol de la educación para avanzar en pos de una arquitectura sustentable.

El artículo La Oficina verde, proyecto de la Universidad Tecnológica Federal de Paraná: su desempeño a nivel tecnológico, y su impacto en el sector académico, privado y público discute el rol educativo de una obra de arquitectura construida en un campus universitario, cuyas estrategias de diseño incluyeron la evaluación de la huella de carbono del edificio dado principalmente por los materiales que lo componen; mientras que el artículo Aprendizaje temprano de arquitectura sustentable mediante vistas interiores graduadas analiza una secuencia de experiencias pedagógicas con estudiantes de arquitectura de la Universidad de Buenos Aires, que se basan en la elaboración de vistas espaciales graduadas según valores de desempeño energético, bajo la premisa de que los criterios de sustentabilidad deben integrarse en etapas tempranas del proceso arquitectónico y de la formación de los futuros arquitectos.

Los siguientes dos artículos proponen métodos para evaluaciones energéticas y ambientales del ambiente construido, y los validan a través de casos de estudio en Argentina. El artículo Metodología para la Estimación del Consumo Energético Implícito en el Crecimiento Urbano de Ciudades Difusas presenta una evaluación del consumo energético asociado a los distintos modelos de crecimiento urbano aplicados al caso del área Metropolitana de Mendoza. Las conclusiones de esta investigación indican que los modelos que detienen el crecimiento en expansión reducen los requerimientos de energía incorporada y energía operativa, poniendo en cuestión los actuales modelos de crecimiento de las

ciudades latinoamericanas. A escala de las edificaciones, el artículo Propuesta metodológica de evaluación higrotérmica para la conservación preventiva del papel propone un método para evaluar la calidad termo higrométrica de edificios de bibliotecas en el contexto de la ciudad de La Plata, Argentina, determinando los rangos adecuados de temperatura y humedad relativa del aire para la correcta conservación de los libros.

El artículo Porcentaje de horas de confort térmico con técnicas de enfriamiento evaporativo indirecto en techos estancaje en clima árido presenta los resultados de un estudio experimental que apunta a determinar el efecto que tienen las estrategias de enfriamiento evaporativo indirecto en el confort térmico de los espacios habitables. Los resultados de este estudio son muy interesantes, por cuanto comprueban la efectividad de estrategias pasivas y de bajo costo en el confort térmico en climas cálidos y secos, como es el caso de Chihuahua, México. Y finalmente, el artículo Métodos de evaluación sostenible de la vivienda: Análisis comparativo de cinco métodos internacionales presenta un análisis comparativo entre los distintos métodos para la evaluación ambiental de edificaciones residenciales que existen en el contexto internacional, en miras al desarrollo de un método apropiado a las especificidades de los contextos locales. Este tema ha sido sin duda materia de discusión entre académicos y profesionales del área, por lo que creemos que este artículo entrega un detallado análisis del estado del arte que permite construir juicios y seguir avanzando en esta línea.

Agradecemos a los autores de estos artículos por la confianza depositada en nuestra revista, y a los revisores por su aporte a la evaluación ciega de los trabajos. Esperamos seguir contribuyendo a la diseminación de la investigación que construye las bases para el desarrollo de un hábitat más sustentable.

Dra. Maureen Trebilcock  
Editora  
Revista Hábitat Sustentable

## La Oficina verde, proyecto de la Universidad Tecnológica Federal de Paraná: su desempeño a nivel tecnológico, y su impacto en el sector académico, privado y público

The Green Office, a project of the Federal Technological University of Paraná: its technological performance, and its impact on the academic, private and public sectors



**Ana Katherine Rodríguez Manrique** [anakt07@hotmail.com](mailto:anakt07@hotmail.com)

Maestría en Ingeniería Civil - Universidad Tecnológica Federal de Paraná – Curitiba, Brasil

**Bruno Vitor Kobiski** [kobiski@gmail.com](mailto:kobiski@gmail.com)

Maestría en Ingeniería Civil - Universidad Tecnológica Federal de Paraná – Curitiba, Brasil

**Eloy Fassi Casagrande Jr** [eloy.casagrande@gmail.com](mailto:eloy.casagrande@gmail.com)

Departamento de Tecnología e Ingeniería Civil - Universidad Tecnológica Federal de Paraná – Curitiba, Brasil.



*Palabras Clave*

Educación ambiental  
Proyecto sostenible  
Interdisciplinariedad  
Confort termo-acústico  
Carbono almacenado  
Aprovechamiento de agua lluvia,  
Proyectos sociales

RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo es mostrar el desempeño de las tecnologías implementadas en la Oficina verde, así como su impacto en el sector académico, privado y público. Para la construcción de esta oficina fue utilizada una estructura *wood-framing*, con miras a reducir la huella de carbono durante el proceso de construcción. Un estudio mostró que esta construcción tiene almacenadas 7,45 toneladas de carbono en sus materiales de origen leñoso. Además, la Oficina verde cuenta con una gran variedad de soluciones sostenibles. Como resultado del desempeño de estas soluciones, se obtuvo que: el agua de lluvia captada en la oficina suple hasta 88% de la demanda media diaria de agua de una persona; el grado de aislamiento acústico de la oficina es de 28 dB, y su temperatura interna puede llegar a ser 4,2°C mayor que la temperatura externa durante el invierno de Curitiba. Por otra parte, el sistema solar fotovoltaico conectado a la red generó durante sus primeros 2 años 4722kWh. La interacción existente entre estos elementos ha llamado la atención de alumnos, empresarios y funcionarios públicos, y los ha inspirado a realizar proyectos interdisciplinarios relacionados con sostenibilidad y eficiencia energética tanto en el campus Curitiba como en la ciudad.

ABSTRACT

*Key Words*

Environmental education,  
Sustainable project,  
Interdisciplinary  
Thermo-acoustic comfort  
Stored carbon  
Rainwater use  
Social projects

The primary objective of this paper is to show the performance of the technologies implemented in the Green Office, as well as its impact on the academic, private and public sectors. For the construction of this office, a wood-framed structure was used with a view to reducing the carbon footprint during the construction process. A study showed that this building has 7.45 tonnes of carbon stored in its wood-based materials. In addition, the Green Office has a wide variety of sustainable solutions. As a result of the performance of these solutions, it was found that: rain water captured in the office supplies up to 88% of the average daily water demand for one person; the degree of acoustic insulation in the office is 28 dB; and its indoor temperature can be 4.2 °C higher than the outside temperature during the winter in Curitiba. On the other hand, the photovoltaic system connected to the power grid generated 4,722 kWh during its first 2 years in operation. The interaction between these elements has captured the attention of students, businesspeople and public officials, and has inspired them to carry out interdisciplinary projects related to sustainability and energy efficiency both on the Curitiba campus as well as in the city.

## 1. Introducción

No hay duda alguna al afirmar que la educación es una de las herramientas disponibles más importantes para lograr el desarrollo sostenible en la sociedad. Sin embargo, las universidades están enfrentando actualmente algunos desafíos importantes para implementar este tipo de educación. La enseñanza tradicional y los métodos de investigación están basados en la fragmentación de conocimiento entre varios departamentos. Esto crea obstáculos por la falta de interdisciplinariedad, la cual es el principal instrumento para la solución de problemas socio-ambientales (Motloch y Casagrande Jr., 2010).

En 1972, el concepto de "Educación Ambiental" fue introducido oficialmente durante la Conferencia de la Naciones Unidas sobre el Medio Humano llevada a cabo en Estocolmo, Suecia. Desde ese entonces, la sociedad se ha vuelto más consciente en relación a los problemas ambientales que ocurren a nivel global. Como resultado, los gobiernos han entendido que el único camino para mejorar esta situación es por medio de la educación.

En 1977, definiciones, objetivos, principios y estrategias para la implementación de acciones adecuadas de educación ambiental, fueron establecidos como resultado de la Conferencia Intergubernamental en Tiflis, Georgia –uno de los eventos más importantes en educación ambiental, organizado por la UNESCO y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP). Allí se determinó que "el proceso educacional debería orientarse a resolver los problemas concretos del medio ambiente a través de enfoques interdisciplinarios y la participación activa y responsable de cada individuo de la comunidad" (Motloch y Casagrande Jr., 2010).

El objetivo de este artículo es analizar el desempeño tecnológico y el impacto, en los sectores académico, público y privado, que ha tenido la Oficina verde desde su inauguración. La repercusión a nivel tecnológico fue analizada levantando los resultados de las investigaciones que evaluaron el desempeño de la Oficina verde en diferentes aspectos ambientales hasta el momento. Para analizar el impacto en los sectores académico, público y privado, se realizó un levantamiento de los programas y proyectos más relevantes, organizados y apoyados, por el escritorio verde desde su inauguración. La justificativa de este trabajo radica en incentivar a personas naturales, entes públicos y privados, por medio de hechos y resultados, a invertir e

implementar proyectos como la Oficina verde para divulgar un método alterno de educación ambiental que envuelve múltiples disciplinas y culturas sociales.

## 2. Implementación de la Oficina verde

La Oficina verde fue construida en diciembre del año 2011 en la Universidad Tecnológica Federal de Paraná (UTFPR) en Curitiba, Brasil, con el fin de promover un plan de desarrollo sostenible por medio de la educación. El objetivo de este espacio es apoyar la investigación de nuevas tecnologías verdes y crear estrategias educacionales para estimular proyectos que impacten sosteniblemente el campus de la universidad y la ciudad de Curitiba. Fueron muchos los esfuerzos por parte de la universidad para conseguir soportes financieros, y como resultado, más de 60 empresas participaron en la construcción de esta oficina proporcionando materiales y tecnologías sostenibles. La Oficina verde fue construida con una estructura wood-framing, en lugar de utilizar la construcción convencional en concreto, para reducir la huella de carbono durante tal proceso. Adicionalmente, se trata de una construcción energéticamente eficiente por el hecho de utilizar sistemas de energía renovable, aislamiento térmico y acústico, iluminación natural, lámparas LED, calefactores de agua solares, tejados verdes y colecta de aguas lluvias. El sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica (SFVIR) tiene una potencia pico instalada de 2100W y el sistema fotovoltaico aislado tiene una potencia pico instalada de 850W. Hasta la fecha, el sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica ha generado más de 6000kWh desde Diciembre de 2011. La oficina verde también ha establecido cooperaciones con investigadores independientes, quienes han desarrollado un carro eléctrico y una bicicleta que funciona con una celda de hidrógeno que se alimenta de energía eléctrica proveniente de energía solar (Casagrande Jr., Kobiski, Gois y Peralta, 2012).

La Figura 1 muestra la vista externa e interna de la Oficina verde.

### 2.1 Tecnologías y materiales utilizados

La edificación de la Oficina verde es resultado de la interacción universidad-empresa, en la cual fueron aplicadas varias tecnologías disponibles en el mercado. Por lo tanto, las alternativas tecnológicas propuestas por las empresas tienden a actuar en conjunto.



**Figura 1:** Izquierda: Vista externa de la Oficina verde. Derecha: Vista interna de la Oficina verde.  
**Figure 1:** Left: External view of the Green Office. Right: Internal view of the Green Office.

Las siguientes directrices de construcción fueron determinadas por el profesor y coordinador del proyecto, Eloy Fassi Casagrande Jr., de acuerdo con los parámetros de arquitectura y construcción sostenible (Escritorio verde online):

- Directrices bioclimáticas aplicadas en el diseño arquitectónico.
- Sistema wood-framing de construcción.
- Aislamiento acústico.
- Aislamiento térmico.
- Tejados verdes.
- Eficiencia de iluminación.
- Sistema de calefacción termodinámico.
- Sistema fotovoltaico de generación de energía eléctrica.
- Sistema de colecta de aguas de lluvias.
- Elevación del piso a través de placas de material reciclable.
- Uso de madera certificada.
- Pisos de drenaje en la parte externa de la edificación.
- Uso de materiales alternativos.

### 3. Desempeño de la Oficina verde

Con el fin de evaluar el desempeño de las tecnologías implementadas en la Oficina verde, se han realizado investigaciones relacionadas con: Carbono almacenado, confort termo-acústico, uso racional del agua y generación de energía eléctrica a partir de módulos solares fotovoltaicos.

#### 3.1 Carbono almacenado

En este ítem se muestra la cantidad de carbono retenido en los materiales leñosos de la Oficina Verde, así como también la cantidad de

dióxido de carbono que estos materiales retiraron de la atmósfera (Tabla 1). Los materiales tenidos en cuenta para este estudio fueron: las ventanas, hechas de eucaliptus urograndis; la estructura wood-framing, elaborada con pinustaeda; la escalera hecha en erismaucinatum; y la cubierta y vigas exteriores, en madera plástica, un compuesto que mezcla plástico reciclado y aserrín de pinustaeda (Kobiski, 2013).

**Tabla 1:** Toneladas de carbono almacenado y toneladas de CO<sub>2</sub> retenido en los materiales analizados.  
**Table 1:** Tonnes of stored carbon, and tonnes of CO<sub>2</sub> retained in the materials tested.

MATERIAL	CARBONO ALMACENADO (TC)
Oriented Strand Board	2,88
Vigas I	1,50
Montantes	2,73
Madera plástica	0,39
Ventana	1,82
Escalera	0,20
Total	9,52

La ecuación que calcula la cantidad de carbono almacenado en cada uno de estos materiales está dada por:

$$tC = Ri * Vi \quad (1)$$

Donde:

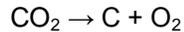
tC: Toneladas de Carbono almacenado

Ri: Contenido de carbono en la madera para cada especie.

Vi: Volumen utilizado en la construcción para cada material.

di: Densidad del material.

Para el cálculo de CO<sub>2</sub> retenido, que es el correspondiente a CO<sub>2</sub> retirado de la atmósfera para la creación del material renovable, fue utilizado el cálculo estequiométrico de la reacción de la fotosíntesis.



Este estudio reveló que la Oficina verde posee 9,52 toneladas de carbono almacenado en los materiales de origen leñoso utilizados para su construcción. Para contrastar este valor, fue determinado el valor de emisión de CO<sub>2</sub>. Este análisis considera la energía embebida en los materiales, el consumo primario de cada tipología de energía para cada material y también la emisión de CO<sub>2</sub> para cada Mega Joule (MJ) de energía consumida, según la metodología propuesta por Tavares (2006). Los materiales leñosos de la Oficina verde fueron considerados sólo con la finalidad de compararlos con el almacenamiento de carbono.

La ecuación para el cálculo de la emisión de CO<sub>2</sub> está dada por:

$$\text{Emisión kgCO}_2 = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i \cdot c_i \quad (2)$$

Donde:

a = Energía embebida por tipología de material (MJ.m<sup>-3</sup>)

b = Consumo porcentual de energía por fuente

c = Emisión de CO<sub>2</sub> por fuente (kgCO<sub>2</sub>.MJ<sup>-1</sup>)

i = Tipología de material

n= número de material

Los valores de a, b y c fueron tomados del trabajo de Tavares (2006).

Los datos mostraron que las emisiones totales de CO<sub>2</sub> de los materiales estudiados fueron de 5,51 tCO<sub>2</sub>. Para establecer una relación, los valores de carbono almacenados fueron transformados en CO<sub>2</sub> retenido. De esta manera, fue posible hacer la sustracción de los valores de CO<sub>2</sub> retenido y CO<sub>2</sub> emitido por los materiales. El resultado fue nuevamente transformado en carbono almacenado, a partir de lo cual el valor se redujo a 7,45 toneladas. Esto corresponde a 555,85 metros cuadrados de un tipo de formación vegetal llamado "bosque de araucaria" o "selva ombrófila mixta", y a 706,16 metros cuadrados de una plantación de pinustaeda. Esta comparación fue realizada a partir de los estudios de carbono almacenado en tipologías forestales, de Watzlawick (2003), que indica que la Floresta ombrófila mista almacena

cerca de 0,013kgC.m<sup>-2</sup> y una cantidad de pinustaeda de 0,011kgC.m<sup>-2</sup>.

### 3.2 Consumo de agua

En la Oficina verde, se implementó un sistema de captación de aguas de lluvias, el cual tiene un área de captación de 111m<sup>2</sup>, filtros de acero inoxidable, un tanque de agua de 1500 litros y una bomba de agua alimentada con la instalación de energía solar fotovoltaica (Ferreira, 2013).

Para estudiar el desempeño de la Oficina verde en relación al uso racional del agua, Ferreira (2013) instaló en dos hidrómetros padrón SANEPAR (empresa de acueducto de Paraná). Estos fueron situados en dos puntos estratégicos, uno que muestra el consumo total del agua potable de la edificación, denominado Hidrómetro 1, y otro que muestra el consumo del agua de lluvia reutilizada, denominado Hidrómetro 2.

**Tabla 2:** Fuentes consumidoras de agua de la Oficina Verde.  
**Table 2:** Sources of water consumption in the Green Office.

TIPO DE AGUA	FUENTE CONSUMIDORA	UBICACIÓN
Potable	Grifo con sensor de presencia - Lavaplatos	Cocina
Potable	Grifo con sensor de presencia - Lavamanos	Baño masculino
Potable	Grifo con sensor de presencia - Lavamanos	Baño femenino
Reutilizada	Inodoro	Baño masculino
Reutilizada	Inodoro	Baño femenino
Reutilizada	Grifo del jardín	Jardín
Reutilizada	Sistema de riego	Jardín vertical

Identificando dónde y cómo se consume el agua en la edificación (Tabla 2), Ferreira realizó medidas en dos puntos. Uno de estos puntos, mide la cantidad de agua potable consumida y el otro, el volumen del agua reutilizada por medio del sistema de captación de agua de lluvia en los 100m<sup>2</sup> de tejado disponible. Después de un mes de haber instalado los hidrómetros, se pudo concluir, por medio del Hidrómetro 1, que hubo una reducción del consumo medio de agua potable por persona<sup>1</sup> del 97,68%. El Hidrómetro 2,

<sup>1</sup> Según SANEPAR, el consumo de agua potable diario medio es de 50 litros por persona.

por su parte, mostró que el agua de lluvia alcanzó a cubrir 88,26% de la demanda media diaria de una persona (200 litros).

### 3.3 Confort termo-acústico

Para alcanzar un confort termo-acústico dentro de la Oficina verde fueron utilizados tejados verdes y placas en madera mineralizada para el techo; mantas de neumático reciclado; lana de botellas PET y ventanas de doble vidrio para las paredes, y tapete fabricado con material reciclado para el piso.

Según Ferreira (2013), Curitiba es considerada la capital más fría de Brasil, con una temperatura media de 16,4°C, que en los meses de invierno (junio y julio) puede llegar a 13°C. Para conocer el desempeño de los aislantes térmicos instalados en la Oficina verde, Ferreira, realizó mediciones de temperatura en el ambiente externo e interno del Escritorio verde, como parte de su tesis de maestría, durante los meses de invierno del año 2012. Los resultados indicaron que las mayores diferencias de temperatura entre el ambiente externo e interno de la Oficina verde, se daban cuando las temperaturas se presentaban más bajas en el exterior. La temperatura interna siempre estaba por encima de la externa, con una diferencia entre ellas que llegaba a los 4,2°C. De este modo, es posible constatar que la Oficina verde posee un buen desempeño en bajas temperaturas.

Para medir el desempeño de los aislantes acústicos de la Oficina verde, se utilizaron los resultados obtenidos de los ensayos de atenuación acústica coordinados por el profesor Dr. Aloísio Leoni Schmid de la Universidad Federal de Paraná. Inicialmente, para una verificación general, fue emitido hacia una de las ventanas y desde el exterior, a una distancia de 2 metros, un ruido rosa<sup>2</sup>. De igual forma, por fuera y a 10cm del centro de la ventana, fue medido un nivel de presión sonora de 97,5 dBA. Mientras, internamente, a 10cm del centro de la ventana cerrada, fue medido un nivel de presión sonora de 70,5 dBA. El grado de aislamiento acústico medido fue de 28 dB (Ferreira, 2013). Según la norma de desempeño de edificaciones brasilera NBR 15.575, el nivel de aislamiento acústico deseado dentro de espacios expuestos a ruidos

razonables de medios de transporte, debería ser mayor a 25dB, lo que muestra que el aislamiento acústico de la Oficina verde está dentro del rango requerido.

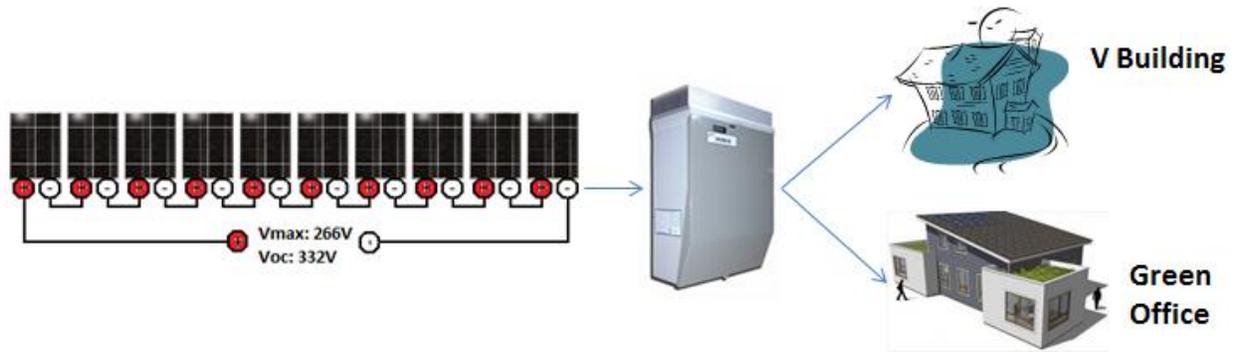
### 3.4 Generación de energía eléctrica a partir del SFVIR

El SFVIR de la Oficina verde fue el primer proyecto con esta configuración en Paraná. Como se puede observar en la Figura 2, su principal objetivo es suplir energía para que sea consumida por las cargas instaladas en el Escritorio verde. En caso de generar más energía de la consumida, esta se envía hacia el "Bloque V", el cual está ubicado detrás de la Oficina verde. Este sistema genera aproximadamente 231kWh mensualmente, valor que supera la demanda de la carga instalada en la Oficina verde, lo que la convierte en una edificación de cero energía (ZEB, por sus siglas en inglés).

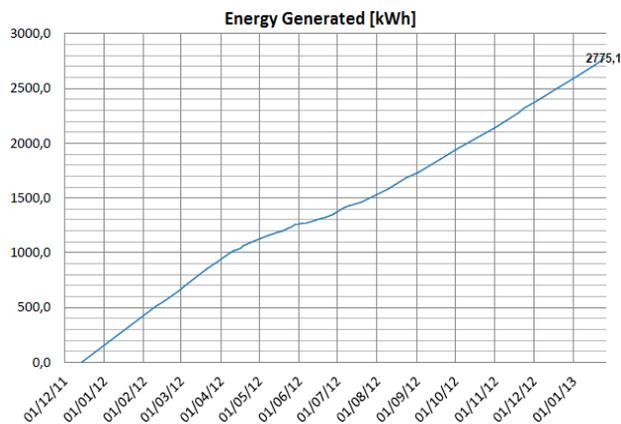
El SFVIR está compuesto por 10 módulos KYOCERA policristalinos conectados en serie (2,1kWp) y un inversor monofásico de 2kW a una salida de 220V. La energía eléctrica generada por el sistema desde el 14 de diciembre del 2011(día de su inauguración) hasta el 14 de diciembre de 2013 fue de 4722 kWh. Para conocer el desempeño de este sistema fotovoltaico, se calcularon tres índices de mérito: factor de capacidad (CF), productividad anual (yield) y desempeño global. El CF representa la relación entre la energía entregada por el sistema fotovoltaico (Figura 3) y la energía que podría ser entregada si trabajara con su potencia nominal 24 horas al día durante un año. El indicador yield indica la relación entre la energía entregada por el sistema fotovoltaico (Figura 3) y su potencia pico. Y el desempeño global cuantifica las pérdidas globales del sistema y representa la capacidad real del mismo para convertir la energía solar disponible en el módulo en energía eléctrica. El CF obtenido durante el año 2012 fue, en promedio, de un 13,22%, el Yield fue de 1160,96 kWh/kW y el desempeño global, de 72,36%, el cual es muy similar al desempeño declarado por el Instituto de Meteorología Nacional de Brasil (INMET).

Estos resultados demuestran la confiabilidad del primer SFVIR de Paraná, y pueden motivar a otras personas y empresas a instalar este tipo de sistemas en los demás municipios de este estado de Brasil.

<sup>2</sup> Ruido rosa: señal con una densidad espectral proporcional al recíproco de la frecuencia (Jaramillo, 2007, p. 25).



**Figura 2:** Diagrama de la configuración del SFVIR de la Oficina verde.  
**Figure 2:** Diagram of the power grid-connected photovoltaic system in the Green Office.



**Figura 3:** Energía eléctrica generada por el SFVIR.  
**Figure 3:** Electric power generated by the photovoltaic system.

#### 4. Proyectos realizados a través de la Oficina verde

La Oficina verde funciona como un espacio de interacción entre personas naturales, entes públicos y privados interesados en el tema de sostenibilidad. A partir de estas interacciones interdisciplinarias se han desarrollado diferentes proyectos que involucran temas de movilidad, educación ambiental y producción de alimentos orgánicos, entre otros. El rol de la Oficina verde en estos proyectos es ofrecer el espacio y la logística para promover que estos eventos se lleven a cabo. De esta manera, los participantes de estos proyectos conocen las aplicaciones de sostenibilidad disponibles actualmente en el mercado, así como su desempeño desde su inauguración. Enseguida se presentan algunos de los proyectos realizados hasta el momento.

##### 4.1 Proyecto Carro Eléctrico en el modelo de Redes Inteligentes (Smart-Grid)

El "Triciclo Pompeu" (Figura 4) es un carro

eléctrico de tres ruedas ideado en el año 2005 por el profesor Renato César Pompeu de la UTFPR. Actualmente, la empresa FIEL está desarrollando un nuevo prototipo con el nombre de "Tree City Car" para que este sea un carro popular de bajo costo, pues su gran ventaja es que para recorrer 10 Km necesita solamente 1kWh de energía eléctrica, lo cual tiene un costo 40 centavos de Reales Brasileiros (R\$0,04/Km).

La Oficina verde participa como socia de este proyecto junto con un grupo de estudiantes de la UTFPR coordinados por el profesor Jair Urbanetz, que estudia mejoras en el prototipo del carro eléctrico. Se persigue, asimismo, investigar la posibilidad de integrar el carro eléctrico a una red inteligente, utilizando, en principio, como fuente de alimentación, el sistema fotovoltaico de la Oficina verde. De este modo, el SFVIR podrá surtir de energía eléctrica al carro y en la noche el mismo carro podrá, a su vez, suministrar energía a la Oficina verde.

La Oficina verde y la empresa FIEL estudian la asociación con la empresa Carmmon, la cual está iniciando un proyecto de carro compartido (Car-Sharing) en Curitiba (Figura 5).

El proyecto consiste en alquilar uno de estos carros en la estación más próxima al usuario, pagando vía internet el tiempo y cantidad de kilómetros necesarios. Después de su uso, el usuario devolverá el carro a la misma estación evitando, de este modo, pagar impuestos, seguros y combustible. Una de las metas de este proyecto es ofrecer un modelo de movilidad sostenible que pueda ser utilizado como una alternativa para reducir los impactos ambientales provenientes del posible aumento de vehículos en el Mundial de fútbol 2014.



Figura 4: Modelo del “Triciclo Pompeu”  
Figure 4: Model of the “Triciclo Pompei”.



Figura 5: Modelo del proyecto Car Sharing.  
Figure 5: Model of the Car Sharing project.

#### 4.2 Centro de educación ambiental “Mananciais da Serra” (CEAM)

El proyecto arquitectónico fue entregado y desarrollado por la Dra. Libia Patricia Peralta Agudelo, la arquitecta Marina Rodríguez y alumnos de la empresa Econsultoria, Empresa Junior interdisciplinaria que funciona dentro de la

Oficina verde. Fue presentado el día 28 de junio de 2013 a SANEPAR (Figura 6). Según la Dra. Patricia Peralta y la arquitecta Marina Rodríguez, “este proyecto está dividido en tres módulos independientes pero integrados entre sí. Cada módulo posee una técnica constructiva diferenciada y sostenible, tornando así la edificación en sí un ejemplo concreto de

educación ambiental”. Estas técnicas y los materiales escogidos garantizan menos desperdicio, mayor rapidez, excelente desempeño térmico y acústico y eficiencia energética. El layout escogido busca una mayor comunicación entre sus ocupantes y la flexibilidad del proyecto, permitiendo así su adaptación en otros lugares de actuación de SANEPAR en el estado de Paraná (SANEPAR, 2013).



**Figura 6:** Proyecto Centro de educación ambiental “Mananciais da Serra” (CEAM)

**Figure 6:** “Mananciais da Serra” environmental education project (CEAM)

## 5. Actividades de la Oficina Verde

### 5.1 Programas implementados en la edificación

Son varios los programas implementados para aumentar la eficiencia ambiental del campus Curitiba como resultado del esfuerzo por alcanzar los objetivos indicados en el Pacto 21. Este es un documento oficial corroborado por la UTFPR y también por otras instituciones universitarias en Paraná, el cual busca compatibilizar acciones con los principios de la Agenda 21 (Escritorio verde online). Las acciones desarrolladas son:

- Carbono cero en la academia, CAZA (por sus siglas en portugués): Un programa que busca reducir los impactos ambientales relacionados con la emisión de gases de efecto invernadero generados por la universidad, a través de la sustitución de materiales y proyectos de compensación y mitigación de emisiones.

- Residuo cero tecnológico y orgánico, REZTO (por sus siglas en portugués): Constituye la continuación del programa de gerenciamento de residuos del Campus Curitiba–PGRCC, que tiene como principal objetivo la correcta recolección, almacenamiento, reutilización y disposición de los residuos orgánicos, reciclables y no reciclables producidos.

- Tratamiento de residuos electrónicos y de computación (TRECO): Su objetivo es estudiar soluciones para el reaprovechamiento de residuos electrónicos que, por desuso, acaban ocupando espacio en la universidad. El programa también prevé la oportunidad de crear asociaciones con la comunidad externa a través de proyectos de extensión universitaria.

- Compra verde: Esta acción tiene como objetivo implantar políticas de compra que consideren el factor sostenibilidad para la selección de proveedores, incluyendo en los reglamentos requisitos ambientales específicos dependiendo de cada material o equipo.

- Sello verde: Estudio de las condiciones ambientales locales y aspectos de evaluación para crear un sello de eficiencia en sostenibilidad que contempla tecnologías para la construcción de edificios, procesos y elección de materiales;

- Premio “Ciudadanía verde UTFPR”: Premio entregado cada año por la UTFPR para una persona o grupo, cuyas acciones contribuyan a atender un nivel elevado de eficiencia económica, social y ambiental.

- Consultoría verde: Prestación de servicios con parcialidad ambiental a través de una empresa júnior que funciona dentro de la Oficina verde. Actúa en proyectos interdisciplinarios con un equipo multidisciplinario, formado por alumnos de la UTFPR, y el apoyo de consultores externos especializados.

- Educación para la sostenibilidad: Programa que busca, a través del grupo RCE – Regional Center of Expertise de la Universidad de las Naciones Unidas (UNU), implantar la educación para la sostenibilidad en varios niveles de enseñanza, y que cuenta con una revista de lanzamiento periódico y varios investigadores.

### 5.2 Curso de tejados verdes y ferias orgánicas

Al contar con dos zonas de tejados verdes, la Oficina verde ha desarrollado cursos sobre la instalación de este tipo de tejados en asociación con la empresa de arquitectura y sostenibilidad Tellus. De hecho, uno de los tejados de la Oficina verde fue desarrollado en el transcurso de uno de aquellos cursos, y contó con la participación de profesionales en el área.

En el otro tejado verde, en tanto, se plantó una huerta, la cual promovió la realización de ferias orgánicas cada sábado en la Oficina verde.



**Figura 8:** Izquierda: Grupo *Croquis Urbanos* en la Oficina Verde. Derecha: Diseño realizado por Fabiano Vianna.  
**Figure 8:** Left: *Croquis Urbanos* group at the Green Office. Right: Design made by Fabiano Vianna.

Esta actividad es parte de un proyecto de extensión de la UTFPR denominado “Encontro da biodiversidade: Compartilhando saberes e sementes para a Agricultura Urbana”. El proyecto tiene como objetivo promover el desarrollo de huertas urbanas ofreciendo cursos, seminarios y conferencias que traten sobre la plantación orgánica y sus técnicas como compostaje y vermicompost (producción de humus de lombriz). En algunos cursos sobre determinados cultivos se promueve la distribución de semillas criollas, debido a la preocupación actual del riesgo de extinción de algunas especies de hortalizas y frutas. La Oficina verde registra a las personas que reciben estas semillas para tener un control de la devolución de las mismas después de haber sido cosechadas (Figura 7).



**Figura 7:** Feria orgánica en la Oficina verde.  
**Figure 7:** Organic fair at the Green Office.

### 5.3 Semana del medio ambiente

Esta gestión se llevó a cabo durante los días 5, 6 y 7 de junio del 2013. El Escritorio verde fue visitado por estudiantes, profesores y ciudadanos quienes disfrutaron de la programación diversificada que incluyó talleres, conferencias e información sobre el medio ambiente. Algunas de las actividades desarrolladas en esta semana

fueron (Escritorio verde online):

- Exhibición de la animación paranaense de Paulo Munhoz “BRICHOS 2: A Floresta é Nossa”. La película fue exhibida a más de 100 alumnos de la Escuela municipal Cel. Durival Britto e Silva, para motivar la reflexión sobre la fauna brasilera y amenazas a la naturaleza.
- “Literatroca”: Actividad que consistió en el intercambio de libros leídos.
- Bicicleta con jugo: Consistió en preparar jugo utilizando una bicicleta como “motor” de una licuadora.
- Taller de grafiti: El objetivo de esta actividad fue mezclar el arte con la discusión ambiental en la Oficina verde.
- Taller de mini-huertas: Huerta hecha por estudiantes de primer semestre de arquitectura en el tejado verde de la Oficina verde. Los niños también aprendieron sobre mini-huertas.
- Conferencia y muestra del fotógrafo paranaense Zig Koch, premiado internacionalmente por su trabajo y reconocido además por sus libros fotográficos publicados en Brasil.
- Invirtiendo en futuras generaciones: Presentación de libro infantil.
- Encuentro de los agricultores urbanos de Curitiba: La primera feria orgánica fue oficialmente inaugurada en la semana del medio ambiente de la Oficina verde.
- Música instrumental con Mário da Silva, músico y profesor instrumental especialista en guitarra, acompañado de sus alumnos de la Escuela de Música y Arte del Estado de Paraná.

#### 5.4 Bocetos urbanos en la UTFPR

El día 4 de agosto del 2013, día histórico en la UTFPR, el grupo “Croquis Urbanos” realizó un registro artístico (que contempló lo antiguo y lo nuevo) de la edificación de la antigua Escuela Técnica CEFET (actual UTFPR) y la edificación sostenible de la Oficina verde (Figura 8).

#### 6. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en las investigaciones sobre la Oficina verde fue posible observar el desempeño de las tecnologías implementadas actualmente en la edificación. En general, las tecnologías implementadas dentro de la Oficina cumplen con el objetivo por el cual fueron instaladas, confirmando así la confiabilidad de estos materiales para que sean utilizados en otros proyectos de construcción sostenible.

Con respecto al aspecto social de éste y al impacto que ha generado la Oficina verde en el sector académico, privado y público, se puede concluir que desde su inauguración, este espacio ha tenido una participación activa por parte de los estudiantes, incentivando de este modo las investigaciones en las ramas de medio ambiente y sostenibilidad. También fue posible evidenciar la participación interdisciplinaria del sector académico en los proyectos y cursos organizados por la Oficina verde.

El impacto que tuvo esta edificación en el sector privado fue evidente desde que comenzó su construcción, al reunir a más de 60 empresas para tal proceso. Además, por medio de asociaciones, la Oficina verde ha trabajado de la mano de empresas privadas en proyectos, talleres y cursos relacionados con sostenibilidad.

Asimismo, la Oficina verde, en su calidad de proyecto promovido por un ente público (UTFPR), ha procurado impactar de manera positiva a los demás entes de educación pública, para que estos implementen proyectos parecidos y promuevan este tipo de educación interdisciplinaria. En este sentido, se han desarrollado proyectos, por medio de entidades públicas, que involucran la movilidad ciudadana de Curitiba y la educación ambiental de los Paranaenses.

#### Agradecimientos

Los autores Ana Katherine Rodríguez Manrique y Bruno Vitor Kobiski, agradecen a la Coordenação

de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES de Brasil, por el apoyo financiero recibido para el desarrollo de esta investigación.

#### Referencias Bibliográficas

Casagrande Jr., E.F., Kobiski, B., Gois J. y Peralta, P. (2012). Practical Strategy for Sustainable Development in Education: The Green Office's Case of the Federal University of Technology of Paraná, Curitiba, Brazil. Trabajo presentado a Rio+20: Conferencia de Naciones Unidas sobre el desarrollo sostenible, junio, Río de Janeiro.

Escritorio verde online. Último acceso: 26 de Octubre de 2013. Disponible en: <http://www.escriptorioverdeonline.com.br/semana-do-meio-ambiente-utfpr/>

Ferreira, L. (2013). Referencial Aqua de certificação de edificações sustentáveis na categoria operação e uso: Estudo de caso do Escritório Verde da UTFPR (Tesis de Maestría). Programa de Pos-graduación de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica Federal de Paraná, Curitiba.

Jaramillo, A. (2004). Acústica: La ciencia del sonido. Medellín, Colombia: Fondo Editorial ITM.

Kobiski B., (2013). Estimativa do Estoque de Carbono em Materiais no Escritório Verde (Tesis de Maestría). Programa de Pos-graduación de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica Federal de Paraná, Curitiba.

Motloch, J. y Casagrande Jr., E.F. (2010). The US-Brazil Sustainability Consortium: local-global collaboration for a sustainable future. *International Journal of Environment and Sustainable Development* 9, 228-240.

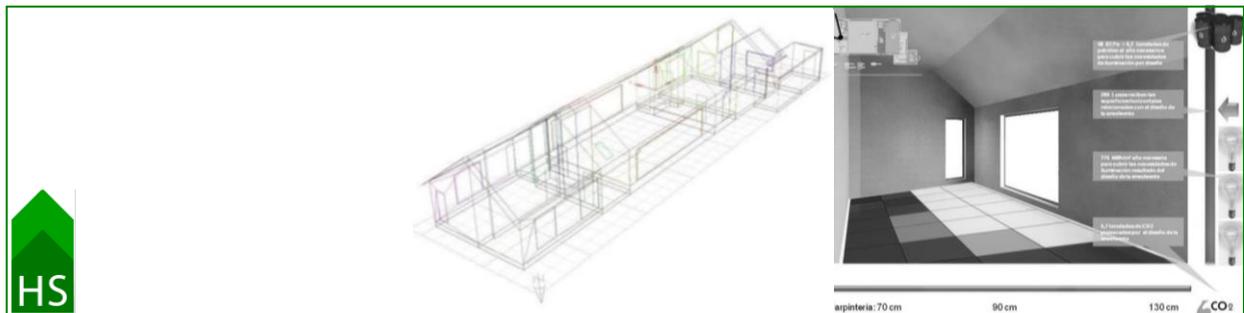
Sanepar. (2013). Centro de Educação Ambiental terá sede autossustentável. Último acceso: 10 de Junio de 2014. Disponible en: <http://site.sanepar.com.br/noticias/centro-de-educacao-ambiental-tera-sede-autossustentavel>.

Tavares, S.F. (2006). Metodologia de Análise do Ciclo de Vida Energética de Edificações Residenciais Brasileiras (Tesis de Doctorado). Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Watzlawick, L.C. (2003). Estimativa de Biomassa e Carbono em Floresta Ombrófila Mista e Plantações Florestais a partir de Dados de Imagens do Satélite IKONOS II. (Tesis de Doctorado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

## Aprendizaje temprano de arquitectura sustentable mediante vistas interiores graduadas

Early learning of sustainable architecture through progressive interior views



**Adriana Edith Granero** [adriana.granero@gmail.com](mailto:adriana.granero@gmail.com)  
Facultad de Arquitectura - Universidad de Belgrano – Buenos Aires,  
Argentina

**Rodrigo García Alvarado** [rgarcia@ubiobio.cl](mailto:rgarcia@ubiobio.cl)  
Departamento de Diseño y Teoría de la Arquitectura – Universidad del  
Bío-Bío – Concepción, Chile



## RESUMEN

*Palabras Claves*  
Arquitectura sustentable  
Enseñanza profesional  
BIM  
Simulación energética

Lograr una arquitectura sustentable requiere, entre otros aspectos, incorporar consideraciones energéticas en etapas tempranas de los diseños arquitectónicos. Las definiciones ambientales involucran principalmente análisis numéricos y temporales, con un detalle de variables normalmente definidas en etapas avanzadas del trabajo proyectual, distantes de las resoluciones espaciales de la gestación inicial del diseño, especialmente durante el comienzo de la formación profesional. Se puede aplicar estos conocimientos técnicos en los alumnos, en etapas tempranas del proyecto, según las teorías de aprendizaje significativo y percepción, que sugieren capacidades de vinculación cognitiva, mediante tecnologías de información y simulaciones gráficas. Este artículo propone una secuencia de experiencias pedagógicas de integración, a partir de modelos para la resolución conjunta del diseño arquitectónico, que se enfoca en la elaboración de vistas espaciales graduadas según valores energéticos. Ello se ejemplifica con el dimensionamiento de vanos para iluminación natural en un recinto doméstico de trabajo, lo cual se relaciona con la privacidad y la visión exterior, como también con la comodidad y el consumo energético. El proceso se ensaya con grupos de estudiantes de arquitectura y a través de consultas con docentes y especialistas del área que reconocen una motivación significativa y de relación ambiental. Esta experiencia de integración gráfica implica una vinculación temprana de condiciones energéticas y espaciales, utilizable para la enseñanza y posterior desempeño profesional, que busca una arquitectura expresiva y ambientalmente responsable.

## ABSTRACT

*Key Words*  
Sustainable Architecture  
Higher Education  
BIM  
Energy Simulation

Achieving sustainable architecture requires, among other aspects, the incorporation of energy considerations in the early stages of architectural designs. Environmental definitions mainly involve numerical and temporal analysis and the detailing of variables normally defined in the advanced stages of a project, far from the spatial resolutions of the initial design concept, especially during early architectural education. This technical knowledge can be applied with students in the early stages of projects, in accordance with theories on meaningful learning and perception which suggest that information technology and graphic simulations enhance cognitive relational capabilities. This article proposes a sequence of pedagogical experiences with models for the integrated resolution of architectural design, which focuses on the creation of progressive spatial views with energy values. This strategy is exemplified by the sizing of windows for natural lighting in a home work space, which is related to privacy and a view of the outside, as well as with comfort and energy consumption. The process was tested with groups of architecture students and

through consultations with teachers and specialists who observed significant motivation that was related to the environment. This graphical integration experience involves the early connection of energy and space requirements, and is useful in higher education and later in professional work which seeks to achieve expressive and environmentally responsible architecture.

## 1. Introducción

El desarrollo de la arquitectura actual parece encontrarse frente a dos desafíos los requerimientos de menor impacto ambiental y la irrupción de nuevas tecnologías que tensionan especialmente la formación profesional.

La preocupación por un futuro sostenible en el sector de la construcción se ha concentrado en reducir el consumo energético y las emisiones de carbono de los edificios, lo que implica considerar diversos análisis numéricos del comportamiento del diseño arquitectónico de la obra y su evolución en el tiempo.

Este estudio aborda consideraciones abstractas vinculadas al desarrollo de condiciones ambientales y consumo de recursos, y remarca su relación lejana con los aspectos formales y espaciales directamente trabajados en la enseñanza de la arquitectura por la característica curricular. La Dra. López de Asiain, enfatiza en su tesis (2005) que esto ha dificultado integrar conocimientos técnicos en la formación profesional, por lo que se ha sugerido modificar esos procesos curriculares, mientras que en otros casos se propone renovar estrategias didácticas (Martínez, 2011). Sin embargo, ambos estudios no han mencionado la condición de disposición del alumno ante el nuevo conocimiento. ¿Cómo influye la tecnología con las que interactúan las nuevas generaciones de estudiantes? ¿Cómo actúan los objetos tecnológicos que disponen y utilizan de manera cada vez más creciente? ¿Qué huella producen los nuevos medios de información y comunicaciones que se caracterizan por su interacción gráfica?

Ahora bien, la enseñanza arquitectónica está basada sustancialmente en el diseño de proyectos, en la resolución de problemas y en la actividad en los talleres. La actividad, a su vez, está vinculada con las teorías actuales del aprendizaje y relacionada con la motivación, que puede ser de dos tipos: motivación por necesidad o motivación por placer.

La motivación por necesidad se da cuando el alumno busca desarrollar una actividad persiguiendo un fin: obtener el conocimiento, aprobar una materia, obtener un título. Mientras que la motivación por placer intelectual ocurre cuando el alumno satisface plenamente la necesidad de aprendizaje, tiene conciencia de la carencia de saberes y se enfrenta a situaciones problemáticas en las que requiere conocimiento.

Por otro lado, la investigación de Connolly, E. Boyle, Macarthur, Hainey y M. Boyle (2012) pone de manifiesto los posibles efectos positivos de los juegos de ordenador, juegos serios y juegos persuasivos en usuarios de más de 14 años y relacionados con el aprendizaje. Sobre la base de 129 artículos, se sostiene que uno de los mayores impactos está relacionado con la conducta afectiva, motivacional y cognitiva de la percepción. El estudio muestra el aumento en la adquisición de conocimiento y su relación con la manera de acceder a ellos, este mismo estudio pone de manifiesto que aquellos alumnos que acceden al conocimiento a través de juegos serios o juegos persuasivos logran una mejor comprensión de los conceptos, también en el artículo se vincula el aumento en la comprensión de conocimientos a la influencia producida por la conducta afectiva y motivacional, concluye describiendo las diferencias encontradas entre los alumnos que acceden al conocimiento a través de juegos por ordenador y los que lo adquieren de manera diferente. Esto se vincula con situaciones de placer intelectual, que favorecen el desarrollo de una conducta afectiva, y con la motivación tanto por satisfacer plenamente necesidades de conocimiento como por resolver problemas; condiciones que se dan particularmente en etapas tempranas de la formación del alumno y de su vinculación con los videojuegos. El alumno comprende el contenido porque está en un código que le es familiar, está acostumbrado a solucionar problemas que son competencia específica de los videojuegos, ha adquirido (con los juegos en red) habilidades para el trabajo en equipo y la colaboración y, en consecuencia, para la comunicación y la autorregulación.

En la revisión bibliográfica realizada se observa las posibilidades que las tecnologías tienen para constituirse en oportunidades para incorporar consideraciones sustentables en el aprendizaje.

A partir de esa premisa, este artículo expone una estrategia de integración, basada en la experimentación y desarrollo sucesivo de la relación de estudios ambientales con la representación espacial, aplicada en viviendas urbanas del Gran Buenos Aires y sobre la base de las investigaciones revisadas. En el trabajo se reconoce finalmente, la necesidad de elaborar una secuencia de vistas interiores con información gráfica presentada de manera graduada para generar una simulación en cuanto mecanismo de mediación diferente con los objetos de conocimiento de alta definición cultural, como secuencias narrativas breves o relatos audiovisuales que favorezcan el pensar digitalmente con imágenes y fortalezcan eficazmente el aprendizaje significativo de arquitectura sustentable.

## 2. Percepción y aprendizaje

Los estudios de percepción han comprobado extensamente los procesos cognitivos desarrollados durante la aprehensión del entorno, que validan el predominio visual pero también la permanente relación con los restantes sentidos, además de la memoria y la reflexión. Reconocen, además, una actividad constante de conexión y configuración mental de las percepciones, vinculada a la experiencia individual, como también a inferencias, que, en definitiva, se decanta en una comprensión global de la realidad (Gibson, 1986) y en el procesamiento de la información percibida, según la teoría computacional de Marr<sup>1</sup>. De manera similar, en las teorías educacionales se ha esclarecido la diferencia entre la aprehensión memorística y momentánea, y la comprensión más profunda y perdurable, que se identifica como "aprendizaje significativo" (Ausubel, Novak y Hanesian, 1983). Este proceso se caracteriza, más que por sus medios o contenidos, por establecer relaciones con los conocimientos previos de la persona, asociándolos con otras informaciones, así como por su capacidad de meditar (metacognición) o valorar emocionalmente la experiencia de aprendizaje, todo lo cual genera modificaciones duraderas en el desarrollo personal.

<sup>1</sup>Mencionada por Vaina (2010:270-294).

Lion en el capítulo: Pensar en red. Metáforas y Escenario, retoma una investigación de Salomon, Perkins y Globerson de 1992, en ella se exploraba "la relación ente tecnologías "inteligentes" (mindtools) y la cognición, en este estudio se distinguía los efectos en conjunción con la tecnología de los efectos PRECEDENTES de la tecnología en términos del residuo cognitivo transferible dejado por la colaboración, tras la forma de un mayor dominio de habilidades y estrategias. Los primeros efectos los entendían como mejoras en la calidad de las acciones y en la oportunidad de las mismas; los segundos, en cambio, se vinculaban con aprendizajes más duraderos, habilidades plausibles de ser transferidas en otros contextos y situaciones." (Lion, 2006) El resultado de estas investigaciones nos permite comprender la acelerada adopción de tecnologías digitales, en particular por los jóvenes en etapas iniciales del aprendizaje. Sustentada especialmente en la facilidad de utilización, gracias a metáforas gráficas (como los sistemas operativos y los programas de dibujo), y/o a la generación de relaciones afectivas (como los teléfonos móviles o las redes sociales).

Se destaca también el desarrollo de los videojuegos, que ofrece una estructura progresiva de un ámbito complejo que involucra diversos sentidos y acciones, que incluye también vinculación con otros usuarios, y que es comprensible (y dominable) por personas de corta edad y sin una educación formal avanzada (Esnaloea, 2006). Cabe añadir aquí, que el concepto de "placer" en los juegos, al que se le denomina "placer lúdico", está vinculado con el disfrute y ha sido poco explorada su vinculación con el aprendizaje, mientras que el caso de juegos serios o persuasivos, este concepto está relacionado con el "placer intelectual".

La capacidad de los medios computacionales, especialmente de los sistemas lúdicos, es la que se ha pretendido explorar en estas experiencias, con la intención de incorporar a ellas requerimientos ambientales en el diseño de construcciones. Con ese fin, se ha procurado identificar procesos y recursos de aprendizaje apropiados para una comprensión sustancial en la formación inicial de arquitectura.

## 3. Aprendizaje de arquitectura sustentable

La enseñanza de la arquitectura posee una estructura consolidada durante los últimos siglos

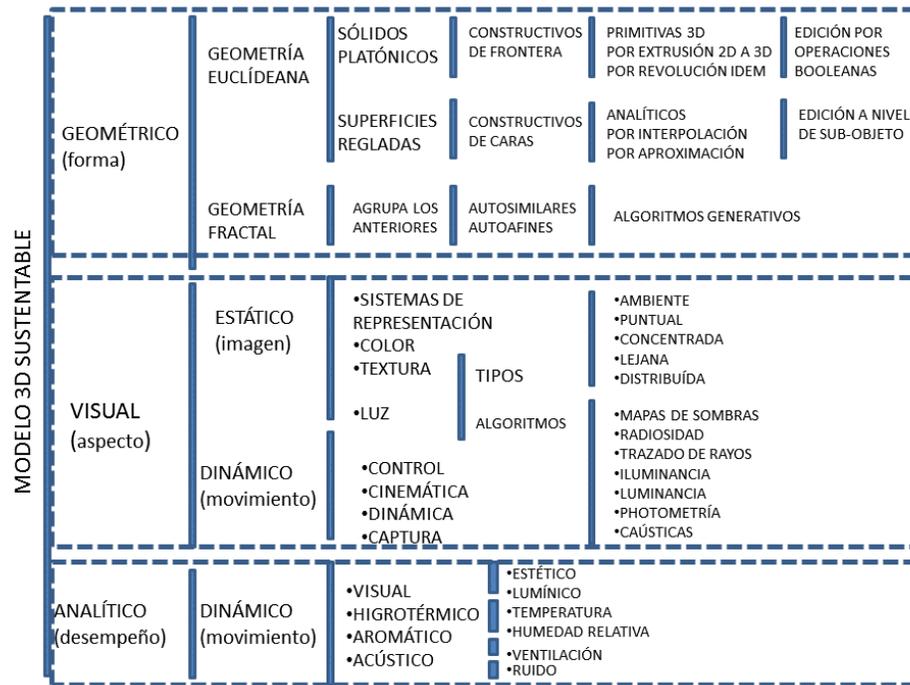


Figura 1: Diagrama de relación general de la modelación constructiva y evaluación energética para el diseño.  
 Figure 1: Diagram of general relationship of building modeling and energy evaluation for design.

en distintas partes del mundo, que contempla una dedicación fundamental a los talleres de diseño, destinados a otorgar progresivamente las capacidades proyectuales esenciales, como también a integrar los conocimientos adquiridos en las distintas asignaturas (Monedero, 2007). Las nuevas tecnologías digitales y los aspectos ambientales se han incorporado hace pocos años a algunas asignaturas técnicas parciales, dictadas por especialistas, y lentamente han sido considerados en la formación de proyectos. Sin embargo, el desarrollo integral y, en particular, los análisis energéticos no son contemplados extensamente en la enseñanza central de diseño arquitectónico (López, 2005). A la vez, la enseñanza de sistemas computacionales se concentra en programas de dibujo, por lo que dichos sistemas se aplican en el taller como soportes gráficos generales de apoyo. Son escasas, por tanto, las asignaturas técnicas que exponen conceptos sostenibles generales y/o algunos ejemplos y métodos de cálculo.

Las consideraciones ambientales para el diseño arquitectónico que conducen a la sostenibilidad futura del entorno, se expresan, en la actualidad, a través de la construcción de edificios que exhiben una reducción considerable del consumo de combustibles para su operación, pero mantienen una situación interior confortable,

mediante diversas modificaciones constructivas, dependientes de su ubicación, ocupación y características, las cuales involucran aspectos propios de la termodinámica y la biología, entre otros campos. De modo que no es una condición específicamente determinada ni claramente formalizada.

Ahora bien, los programas de análisis ambiental permiten calcular el desempeño energético de los edificios de acuerdo a diversos supuestos y detalles particulares, previendo su comportamiento en el tiempo, en base a un modelo geométrico y a definiciones numéricas de su materialidad, equipamiento, ocupación y clima, entre otros aspectos. Entregan como resultados los valores de la situación ambiental interior en distintos periodos, así como la demanda en magnitudes de energía, logrando efectuar gráficos de su oscilación temporal en distintas etapas. Programas como Ecotect, Design Builder, TAS, etc. proveen una capacidad de simulación que requiere conocimientos adecuados de la física de las construcciones y experiencia profesional para plantear alteraciones en los edificios que permitan mejorar sus condiciones ambientales.

El software de diseño ha avanzado en las capacidades de representación gráfica, manejando actualmente modelos tridimensionales con elementos constructivos (BIM) y diversas

formas de visualización vinculadas (planos o perspectivas) cuyas modificaciones generan actualizaciones inmediatas del modelo central. Revit, Archicad o Allplan además permiten un trabajo profesional colaborativo e integral, y se están introduciendo parcialmente en la enseñanza de arquitectura en pos del desarrollo consistente del diseño actual, considerando algunas operaciones de cuantificación e información de los elementos, especialmente en los proyectos profesionales más detallados. Recientemente, el software BIM ha planteado algunas posibilidades de relación con software de simulación energética a través de compartir los modelos con formatos de intercambio IDF, o de la integración de módulos internos de análisis, aunque son parciales y simplificados, pero hasta el momento no se ha encontrado publicada experiencia sustancial de trabajo en conjunción con esta tecnología y su aplicación en el aprendizaje inicial.

Las más consistentes experiencias educativas publicadas son, probablemente, los cursos avanzados de arquitectura de Hamza y Horne (2006) y Thebellin (2008) que abordan la integración de modelación constructiva y análisis energético, y la elaboración combinada de análisis ambientales y diseño de la edificación, que demuestran la capacidad de relacionar el estudio de ambas áreas. Sin embargo, esto ha implicado vastos esfuerzos de entrenamiento previo con software y apoyo técnico de los docentes, así como logros diversos en los estudiantes, que no han sido debidamente caracterizados. En las fases iniciales de aprendizaje de arquitectura se ha efectuado también diversas actividades de concientización ambiental, pero sin registros apropiados ni comprobación de sus incidencias en el diseño. Por esta razón, este trabajo plantea una investigación abocada a la aplicación vinculada de modelación constructiva y análisis energético en la formación temprana de arquitectura.

#### **4. Experimentación de modelos integrados**

Con el fin de identificar características relevantes de las herramientas computacionales de modelación constructiva y simulación energética, aplicadas de manera integrada para el aprendizaje temprano de arquitectura sustentable, se realizó un primer ejercicio exploratorio amplio. Se ofreció a treinta estudiantes de los primeros niveles del currículo de Arquitectura de la Universidad de Buenos Aires, inscritos en un

curso semestral de representación computacional, efectuar una experiencia de diseño de manera voluntaria y adicional, la cual se desarrollaría en grupos de 2 o 3 alumnos, durante seis semanas. El trabajo consistió en un proyecto de reciclaje de una vivienda tradicional de un piso entre medianeras, cuyo objetivo era llevar a cabo una edificación vinculada a la vivencia cotidiana de los estudiantes, según plantean las teorías de aprendizaje significativo, mediante el empleo de programas populares de modelación (Revit, que se revisaba en el curso regular) y Ecotect (que se aprendía independientemente) y a partir del levantamiento, desde la documentación técnica, fotografías y descripción constructiva. El material provisto pretendió facilitar la modelación, ya que inicialmente se planteó realizar una búsqueda propia de casos en la ciudad. A pesar de la disponibilidad y motivación de las primeras semanas, los alumnos finalmente no completaron la propuesta arguyendo desincentivo e incompreensión espacial de la obra, y proponiendo elaborar viviendas internacionales destacadas. Estos resultados revelaron que las barreras de aprendizaje no radican en los temas propuestos, ni el manejo de las herramientas que asumen voluntariamente, sino en la magnitud de trabajo, el contenido específico y la representación particular.

En consecuencia, se efectuó luego, con los mismos alumnos, ejercicios breves de aspectos expresivos, buscando explorar la interpretación de situaciones espaciales que promovieran su interés, en modelos digitales y dibujos manuales. Esto visibilizó su capacidad de identificar y generar perspectivas interiores en obras relevantes, con algunas debilidades en la construcción geométrica, representación material y de iluminación. Tal constatación permitió precisar las condiciones de aprendizaje para focalizar la integración de conocimientos.

Como resultado de las experiencias anteriores, se planteó un ejercicio enfocado específicamente en la resolución espacial, a partir de resultados de análisis ambiental.

Para ello se elaboró anticipadamente la modelación de una vivienda de los suburbios de la ciudad (Figura 2), con la colaboración de alumnos avanzados, y seleccionada por sus méritos espaciales y disponibilidad de información. Se estudió, en particular, un recinto de trabajo doméstico (un escritorio) en una esquina de la vivienda, con ventanas orientadas a un jardín interior. En la simulación ambiental, los



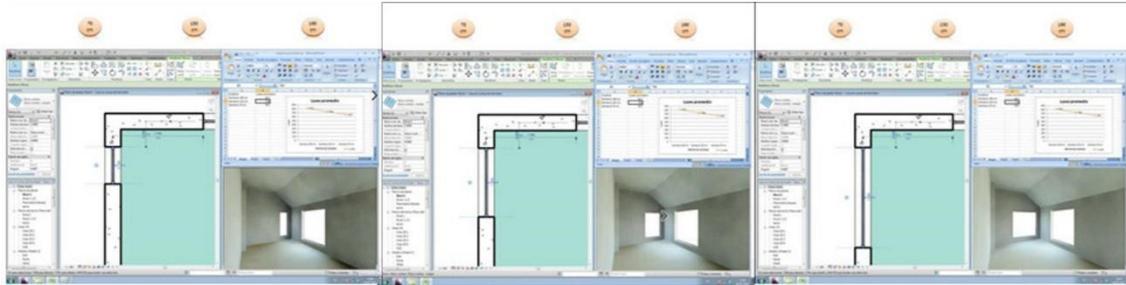
**Figura 2:** Caso de estudio.  
**Figure 2:** Case studied.

estudiantes examinaron los distintos resultados de la iluminación natural, según diferentes dimensiones de la ventana principal (anchos de 70, 130 y 190 cm). La simulación otorgó un mapa bidimensional de valores de luminancia en el plano de trabajo del recinto, reconociendo una magnitud superior al 80% con valores superiores para trabajo delicado (400 lux) como una medida aceptable, lo que incide directamente en consumo energético, ya que valores inferiores exigen iluminación artificial (aunque no se revisaron los consumos involucrados). Por otro lado, las modificaciones de las ventanas, además de afectar la iluminación, influyen en la cantidad de visión horizontal del exterior y eventualmente también en la sensación de privacidad y la calidad de la espacialidad interior. De esta manera, se determinó una acción de diseño que incidía simultáneamente en aspectos cualitativos y requerimientos cuantitativos. Se elaboraron,

presentaciones de tres situaciones alternativas con la representación tridimensional del espacio expuesta en representaciones tradicionales de planta, alzado y una perspectiva exterior, además de la matriz de iluminancia del recinto elaborada en la simulación. Asimismo, se efectuó una presentación simultánea de las tres matrices de iluminancia con una gráfica de área, comparando las dimensiones laterales de los vanos en relación a los resultados medios de luminancia, para expresar la continuidad de variación, que además no progresaba linealmente, sino sugiriendo entonces posibilidades intermedias de diseño.

### 5. Desarrollo de vistas interiores graduadas

Para elaborar la propuesta de integración específica se efectuaron ejercicios reducidos de validación con estudiantes de arquitectura de



**Figura 3:** Prueba inicial. Presentación integrada del modelo constructivo y gráficos de simulación.  
**Figure 3:** Initial test. Integrated presentation of building model and simulation graphs.

niveles intermedios de Argentina, Brasil y Chile, con el fin de revisar distintos contextos culturales y educacionales. Posteriormente se llevó a cabo una verificación con un conjunto amplio de estudiantes y un grupo de docentes del área.

Para las pruebas iniciales se efectuó una presentación consolidada de las tres alternativas más arriba explicadas (Figura 3), mostrando simultáneamente en pantalla una planta detallada de la esquina del recinto y sus ventanas, una perspectiva interior desde un punto opuesto y renderizada según la iluminación correspondiente, y un gráfico de área de los tres valores medios de iluminación natural según las dimensiones, para sugerir la continuidad de modificación.

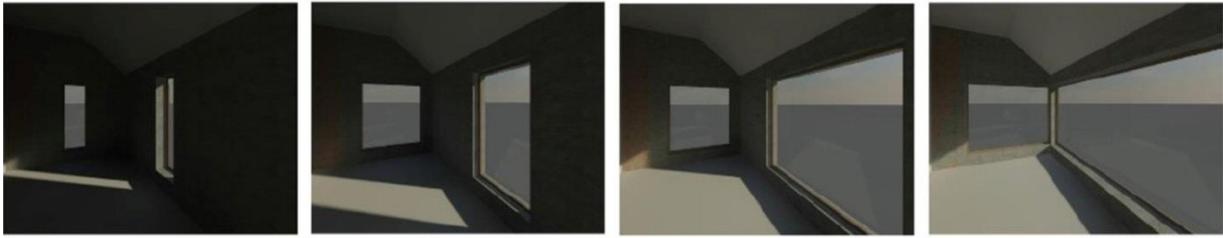
Además, se expuso, en la parte superior de la pantalla, las tres magnitudes de ancho de la ventana, para remarcar las tres alternativas principales expuestas consecutivamente. Las experiencias consistieron en una reunión individual (el investigador y el alumno) de aproximadamente treinta a cuarenta minutos. La sesión comenzó con comentarios del problema de diseño a lo que siguió la presentación en pantalla de computador de las tres alternativas para decidir una opción preferente (sin participación del relator). Luego, se discutió abiertamente los aspectos que condujeron a apoyar la decisión de diseño, actividad moderada por el relator mediante preguntas encadenadas.

En los ejercicios, la participación se mantuvo constante, acorde con los temas del ejercicio, y con una vívida discusión final. Esto expresa interés y motivación por el ejercicio y los métodos utilizados. De igual forma, en todos los casos las conversaciones sostenidas posterior y espontáneamente se orientaron a la discusión de las condiciones de iluminación, consumo de energía, espacialidad y comodidad de las tres alternativas. Ello reveló un dominio de los aspectos planteados en relación a su enseñanza general. Pero hubo escasa mención a la relación

visual o la actividad no se vinculó a valores energéticos, condiciones de equipamiento o ejecución constructiva. En relación a los aspectos de la presentación, incidentes en la revisión de las tres alternativas, se advirtió una preferencia consistente por las vistas interiores.

Por esta razón, en una siguiente fase de trabajo se elaboraron una serie de vistas interiores de presentación más elaborada (en cuanto a iluminación y vista exterior), aunque igualmente sin equipamiento ni detalles, con alternativas más variadas que las desarrolladas al inicio (que fueron presentadas paralelamente para facilitar la comparación) (Figura 4). En la experiencia de prueba se expusieron la serie de vistas junto a las gráficas y planos del recinto, durante sesiones voluntarias de unos veinte minutos (individuales o grupales). Después, se solicitó a los participantes efectuar una decisión de diseño en base a la información provista y un comentario general de la situación. Los alumnos completaron una encuesta linealmente (Figura 5), mientras el docente observaba directamente y posteriormente entrevistaba de manera aleatoria a algunos de ellos. Los resultados obtenidos pusieron en evidencia una representatividad consistente de los estudiantes y una relación variada con los temas y herramientas de trabajo; una vinculación temática, pero no necesariamente dominio técnico. En las conversaciones y comportamiento se reconocía nuevamente una prevalencia por las vistas como elemento fundamental de la decisión y apoyo a la discusión de condiciones de diseño.

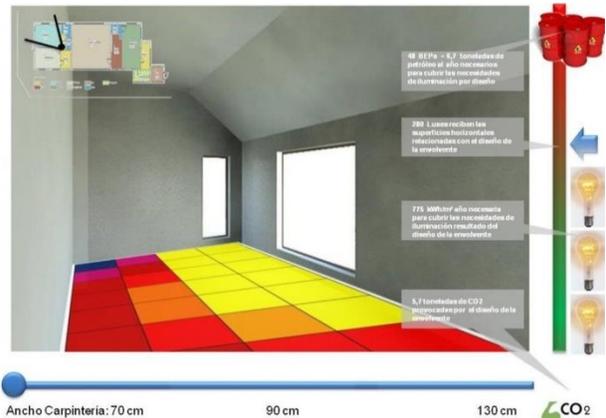
Finalmente, para una validación experta de la estrategia, se expuso la situación del diseño y el material gráfico de las alternativas a un grupo de docentes de arquitectura (de distintas materias), quienes a continuación completaron un cuestionario y realizaron una conversación abierta. En este grupo se revelaron posturas coincidentes y positivas frente a la aproximación



**Figura 4:** Desarrollo inicial de vistas interiores graduadas.  
**Figure 4:** Initial Development of progressive interior views.



**Figura 5:** Ejercicios de prueba con estudiantes de arquitectura.  
**Figure 5:** Test exercises with architecture students.

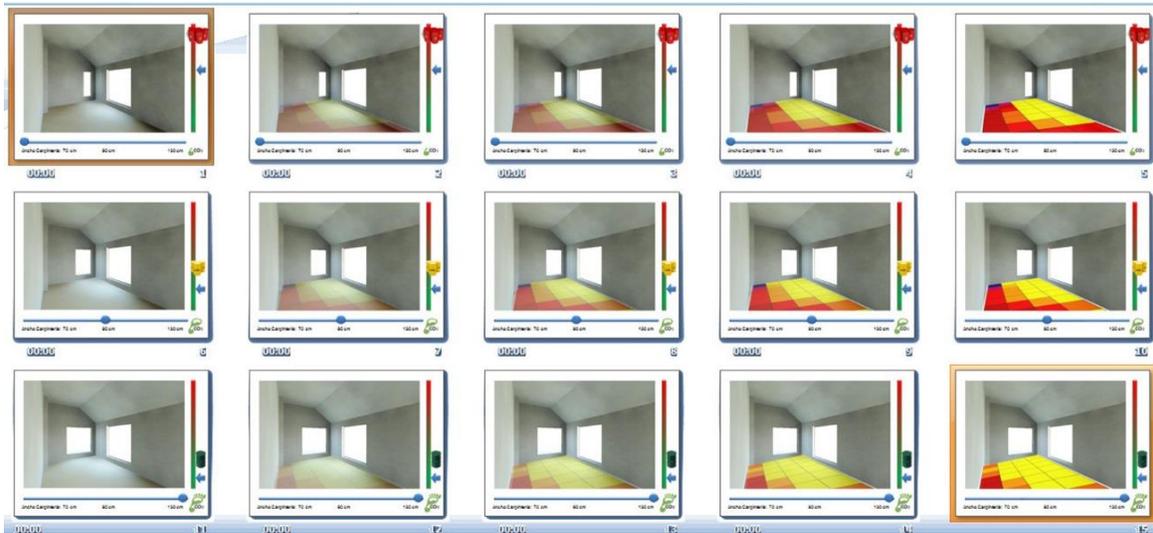


**Figura 6:** Desarrollo final de vistas interiores graduadas.  
**Figure 6:** Final development of progressive interior views.

planteada, aunque más divergentes en un sentido conceptual de diversos factores que conspiran contra el propósito de crear formaciones duraderas. A pesar de ello en general, se valoró aquí más la forma que la imagen y se concordó sustancialmente en la integración de la información y el uso de medios digitales. Esto revela una aceptación general a la estrategia planteada.

La propuesta de integración culminó con la presentación animada de perspectivas graduadas, mediante una exhibición animada sobrepuesta de las vistas alternativas (Figuras 6 y 7), en la que se graficó, a uno de sus lados, la

magnitud media de iluminación en una barra de colores y, abajo, la medida de ancho de la ventana. La idea tuvo como fin exponer una transición continua entre las vistas, sugiriendo además los valores involucrados, así como también la posibilidad de presentar en el piso del recinto la matriz coloreada de valores de iluminación, de modo que pudiera comprenderse la distribución interna. Esta presentación expresa la convergencia visual, reconocida a través de las sucesivas experiencias, que hace posible una comprensión cabal de la relación de procedimientos energéticos con situaciones espaciales, representada en el ejemplo de iluminación de un escritorio.



**Figura 7:** Desarrollo final de vistas interiores graduadas.  
**Figure 7:** Final development of progressive interior views

## 6. Discusión y conclusiones

Esta secuencia de experiencias de aprendizaje demuestra la potencialidad de integración de modelos de información constructiva y análisis energético en la formación temprana de arquitectura. Integración que, en una relación progresiva entre los medios gráficos y el aprendizaje significativo, revela en cada etapa la posibilidad de representar más sintéticamente las condiciones ambientales, y una mayor vinculación, reflexión y motivación, que son características sustanciales del conocimiento perdurable (Ausubel et al, 1983). Esta convergencia se advierte focalizada, con los comentarios y a modo de conclusión, en las entrevistas posteriores a la experiencia, realizadas entre el investigador y el alumno; hacia vistas interiores graduadas, que exponen secuencialmente diferentes alternativas espaciales desde una representación personal interior con una indicación gráfica adicional de su magnitud energética. Estas vistas y sus proyecciones generan, en breves actividades de aprendizaje, una relevante relación de condiciones, como también mayor comprensión de la situación y motivación, según indican alumnos participantes y docentes consultados. Se advierte, de esta manera, un recurso expresivo eficaz para la integración pedagógica inicial de estudios ambientales y variaciones constructivas que promuevan una arquitectura más sustentable.

Las vistas interiores graduadas poseen la capacidad de comunicar simultáneamente información gráfica y escrita, no disponible aún en

las interfaces de los programas de diseño. Además, el tipo de información que se brinda a través de ellas es elaborado y supervisado, y permite ofrecer una síntesis y un enfoque determinado. Pero, por sobre todo, las grandes ventajas que promete la manipulación digital radican en la relación con los conocimientos previos de los estudiantes y su visualización; la asociación con diferentes informaciones gráficas y textuales que permite la integración y la meditación; y, finalmente, la valoración emocional de la experiencia que involucra al alumno al representar un rol protagónico que lo motiva, en términos de placer intelectual.

Sin embargo, esta serie de actividades exhibe, a la vez, una limitación en el manejo de procedimientos técnicos que requieren ser preparados para la experiencia. Es decir, la elaboración de los modelos, el estudio de la situación y definición de alternativas, y su representación se traslada a los docentes o sus asistentes, quienes deben generar una secuencia narrativa breve y visual, antes de proponer al alumno para su interacción. En este sentido, es importante que las actividades pedagógicas enfatizen una presentación general del problema de diseño (y sus proyecciones ambientales), como también definan posibilidades relevantes arquitectónicamente, todo lo cual repercute en la necesidad de una adecuada preparación docente como también de una apropiada cobertura institucional, que se haga cargo de la dedicación e infraestructura requeridas. De modo que se deben considerar reformas curriculares y cierta evolución académica para sostener estas

experiencias de integración, no obstante, creemos haber demostrado que estas acciones didácticas son factibles y sustanciales para el desarrollo de la formación arquitectónica.

En efecto, estas actividades revelan que una vinculación gráfica, que reconoce una relación crucial entre condiciones de configuración y desempeño ambiental, abre nuevas definiciones pedagógicas. Respaldada en las teorías de percepción y la proliferación de medios tecnológicos, y también vinculada con la motivación y el auto-aprendizaje, esta investigación, en definitiva, insinúa pistas relevantes para desarrollar un diseño sustentable integrado.

### Agradecimientos

El presente trabajo ha sido posible gracias a la dedicación y al estímulo del equipo de profesores del Doctorado en Arquitectura y Urbanismo de la Universidad del Bío-Bío. Agradezco además a los ayudantes Gerth Wandersleben y Solange Cuevas y al apoyo del FONDECYT 1120165.

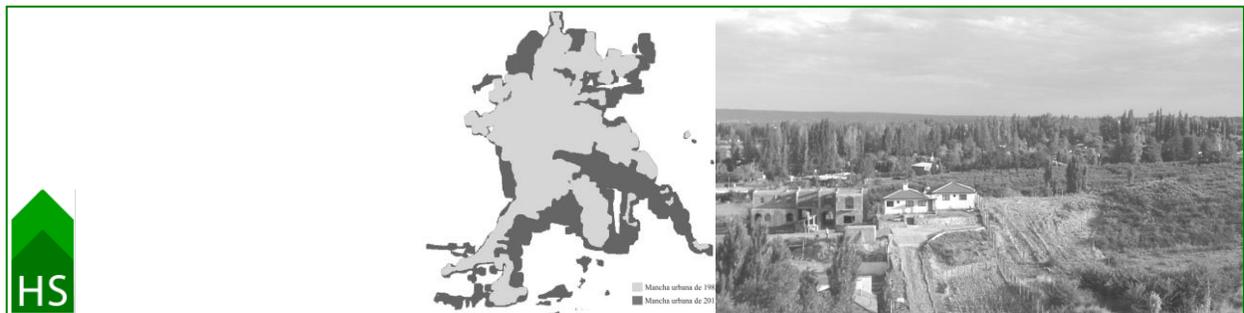
### Referencias bibliográficas

- Aubel, D., Novak, J., y Hanesian, H. (1983). *Psicología educativa: Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.
- Connolly, T., Boyle, E., MacArthur, E., Hainey, T. y Boyle, M. (2012). A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *ScienceDirect*, 59(2), 661-686.
- Esnaola, G. (2006). *Claves Culturales en la construcción del conocimiento. ¿Qué enseñan los videojuegos? (1º ed.)*. Buenos Aires, Argentina: Alfagrama.
- Gibson, J. (1986). *The ecological approach to visual perception*. New Jersey: Laurence Erlbaum Associates, Inc.
- Hamza, D.N., y Horne, M. (Noviembre de 2006). *ScienceDirect.com*. Última consulta: 10/3/2010 Disponible en: [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6V23-4MR1RR1&\\_user=10&\\_coverDate=11%2F30%2F2007&\\_rdoc=1&\\_fmt=high&\\_orig=search&\\_sort=d&\\_docanchor=&view=c&\\_searchStrl](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V23-4MR1RR1&_user=10&_coverDate=11%2F30%2F2007&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrl)
- Lion, C. (2006). *Imaginar con Tecnologías*. Buenos Aires: La Crujía.
- López de Asiain Alberich, M. (2005). *La Formación Medioambiental del Arquitecto. Hacia un programa de docencia basado en la Arquitectura y el Medioambiente*. Tesis Doctoral. Barcelona, España.
- Martínez, R. (2011). *Situating Environmental Design in the Studio-An ecological learning approach*. Tesis Doctoral. Nottingham, Gran Bretaña.
- Monedero MOYA, J. (2007). El diseño de los materiales educativos ante un nuevo reto en la enseñanza universitaria: el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES). *Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 21(1), 51-68.
- Thebeling, F. Paper eCAADe Proceedings2008\_094 Última consulta 18/6/2014 Disponible en: [http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/Show?\\_id=ecaade2008\\_094&sort=DEFAULT&search=%2fseries%3a%22eCAADe%22&hits=1856](http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/Show?_id=ecaade2008_094&sort=DEFAULT&search=%2fseries%3a%22eCAADe%22&hits=1856) Documento presentado en la 26ª Conferencia eCAADe Proceedings Antwerpen, Bélgica (17 al 20/09, 2008), pp 477-482 .
- Vaina, L. (2010). *Vision: A Computational Investigation Into The Human Representations and Processing of Visual Information/David Marr*. Cambridge, Massachuset: The MIT Press.

Recibido: 05|05|2014  
Aceptado: 18|05|2014

# Metodología para la Estimación de Consumo Energético Implícito en el Crecimiento Urbano de Ciudades Difusas

Methodology for Estimating Implied Energy Consumption in the Urban Growth of Diffuse Cities



**Jimena Gómez Piovano** [jpiovano@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:jpiovano@mendoza-conicet.gob.ar)  
INCIHUSA-CONICET – CCT Mendoza – Mendoza, Argentina

**Alejandro Mesa** [amesa@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:amesa@mendoza-conicet.gob.ar)  
INCIHUSA-CONICET – CCT Mendoza – Mendoza, Argentina



*Palabras Clave*  
Crecimiento urbano  
Instrumentos de simulación  
Impacto  
Consumo de energía

## RESUMEN

La tendencia de urbanización que presentan las ciudades latinoamericanas es en la actualidad una de las más altas del planeta. La misma determina que el incremento de superficie urbanizada es mayor a la tasa de crecimiento poblacional. A su vez, las ciudades emplean el 75% de la energía que se consume en el planeta, por lo que son responsables en igual proporción de la emanación de los gases que producen el efecto invernadero. Ante esto, el planeamiento urbano debe incorporar estrategias de diseño que reduzcan dichos consumos. Tratando de aportar una alternativa a esa tendencia, este trabajo tiene como objetivo evaluar el impacto de los distintos modelos de crecimiento urbano para una misma ciudad. Para ello, se cuantifican las variables referidas al uso del suelo y a los consumos energéticos asociados a los requerimientos de las construcciones e infraestructuras necesarias para albergar dicho crecimiento de la ciudad por año, comparando los resultados obtenidos con los valores de referencia de indicadores de sustentabilidad desarrollados en Europa para verificar su potencial implementación en ciudades latinoamericanas. Como ejercicio de validación, se evalúan distintos modelos de crecimiento urbano para el Área Metropolitana de Mendoza, Argentina.

## ABSTRACT

*Key Words*  
Urban growth  
Simulation tools  
Impact  
Energy consumption

The urbanization trend in Latin American cities is currently one of the highest in the world. It determines that the increase in urban area is greater than the rate of population growth. In turn, cities use 75% of the energy consumed on the planet. For this reason, they are responsible in equal proportion for the production of greenhouse gases. In response, urban planning should incorporate design strategies to reduce said consumption. As an alternative to this trend, the objective of this investigation is to assess the impact of the different models of urban growth for the same city. To this end, variables related to land use and energy consumption associated with the building and infrastructure requirements necessary to accommodate the growth of the city per year were quantified. The results obtained were compared with the reference values of sustainability indicators developed in Europe to verify their potential implementation in Latin American cities. As a validation exercise, different urban growth models were evaluated in the Mendoza Metropolitan Area, Argentina.

## 1. Introducción

América Latina es una de las regiones donde actualmente el fenómeno de urbanización se da en mayor proporción: 80%, superando con ello a Europa y a Estados Unidos. Dicho valor se incrementa aún más para Argentina (ONU Hábitat, 2012). A su vez, el ritmo de crecimiento de la expansión urbana es superior al del crecimiento poblacional, generando una reducción de la densidad demográfica (ONU Hábitat, 2012): “La pérdida de densidad significa el aumento de los costos de todas las infraestructuras y su mantenimiento. Las ciudades más extensas requieren más carreteras, más tuberías, cables y más sistemas de transporte, y hacen que disminuyan las economías de escala y las ventajas de aglomeración” (ONU Hábitat, 2012, p. XIII). La mayor parte de las urbanizaciones están insertas en las zonas fértiles y productivas, constituyendo su crecimiento, importantes pérdidas de producción agrícola. La necesidad de reservar suelo no urbanizable es ardua en todos los ambientes, y se complejiza todavía más en los ecosistemas áridos donde la expansión agraria se ve limitada a una determinada superficie.

Salvador Rueda (1998) sostiene que existen actualmente dos modelos antagónicos de urbanismo, la ciudad compacta y la ciudad difusa. La ciudad difusa es aquella que se disipa en grandes superficies, que tiene de todo y mucho, pero con baja densidad poblacional, y se halla separada funcionalmente en áreas: la universidad, la industria, la residencia, las áreas comerciales, las oficinas (Moliní, 2012). Tales núcleos funcionales se unen a través de una densa red de carreteras y vías de transporte. Por consiguiente, el sistema urbano de ciudad difusa, se caracteriza por el aumento de la superficie urbanizada y el consumo desmedido de recursos naturales como el suelo.

La combinación entre la dispersión de actividades, que impone la ciudad difusa, y la necesidad propia del hombre de contactarse personalmente da como resultado un uso masivo de los medios de locomoción motorizado, en su mayoría vehículos privados, ya que la baja densidad habitacional hace al servicio de transporte público poco eficiente (Mesa, 2005; Papparelli, 2009). De este modo, el modelo de ciudad difusa se considera insostenible ya que la huella creciente de ocupación por el suelo urbano y la red de movilidad horizontal, invaden tierras de alto valor tanto ecológico como agrícola (Papparelli, 2009) y generan mayores consumos

energéticos, tanto en los procesos constructivos como en el funcionamiento (Moliní, 2012).

En cambio, en las ciudades compactas, la mayor densidad poblacional posibilita la coincidencia en un mismo sector de la residencia, los servicios, las actividades económicas y los equipamientos. De esta manera, proporciona el contexto adecuado para el aumento de intercambios sociales (Rueda, 1998). Asimismo, la mayor densidad poblacional hace más eficiente al transporte público, lo que produce la disminución del número de automóviles que circulan, liberando así parte de las vías de movilidad saturadas hoy en día por el tránsito privado. La densificación, en relación a la infraestructura, conlleva menores consumos energéticos, así como también la mayor factibilidad de implementación de los mismos (Burgess, 2000; Rueda, 1998; de Schiller, 2000).

En relación a ello, un grupo de investigadores canadienses encabezados por Jonathan Norman (2006) cuantificó las diferencias de consumo energético de 2 modelos urbanos, uno difuso de baja densidad (57hab/ha) y el otro compacto de mayor densidad (270hab/ha). En base al análisis realizado se pudo determinar que el sector más denso consume 37% menos de energía en construcción y 45% menos en relación a la operatividad edilicia. Como consecuencia de la de menor distancia y la disminución de viajes de la alta densidad, se reduce el consumo energético del transporte privado en un 73% y un 70% menos en los recorridos de transporte público en relación con el sector de baja densidad.

Hoy en día, las ciudades de baja densidad deben revertir su patrón de crecimiento expansivo, planificando la densificación de las zonas urbanizadas, para disminuir así el uso de suelo y su consumo energético.

Este trabajo desarrolla una herramienta simple que permite de forma rápida evaluar el impacto del crecimiento urbano mediante la comparación de los consumos de recursos naturales (suelo) y los energéticos relacionados, en distintas alternativas de crecimiento para una misma ciudad. A modo de ejemplo, se toma como ciudad de análisis al Área Metropolitana de Mendoza, Argentina.

## 2. Metodología

El presente trabajo se estructura en 2 etapas, la primera consiste en la descripción de la

metodología desarrollada para evaluar el impacto producido por el crecimiento urbano de ciudades de baja densidad (<60hab/ha). La segunda etapa, tiene como fin aplicar la herramienta creada para el estudio de distintas variables de crecimiento urbano para el Área Metropolitana de Mendoza.

La herramienta de simulación diseñada elaborará un sistema de proyección numérica que permite correlacionar de forma rápida las implicancias a nivel de consumo de recursos que conllevan distintos modelos de crecimiento urbano para una ciudad. Primero, se estima el crecimiento poblacional del sector de forma lineal y se deduce los requerimientos edilicios-urbanos necesarios para mantener el equilibrio de  $m^2/hab$ . Posteriormente, sobre los valores necesarios, se calcula el impacto de estos requerimientos, para lo cual se toma como referencia valoraciones realizadas por diversos estudios. Se realiza, además, una valoración de los indicadores de sustentabilidad de los usos del suelo y se toma como marco de referencia el estudio realizado por Salvador Rueda (2012). Para la evaluación de los consumos energéticos a nivel de operatividad de la ciudad, se toma como marco de referencia el estudio realizado por Norman (2006). Los requerimientos energéticos asociados a la construcción de viviendas y la urbanización de nuevos territorios son calculados mediante los valores estipulados por Cepeda Gutiérrez (2012).

En uno de los casos, el crecimiento poblacional se da en forma expansiva, requiriendo mayor superficie urbanizada y en el otro, el crecimiento densifica la ciudad, manteniendo constante la superficie urbanizada.

El proceso metodológico empleado se estructura en las siguientes cuatro etapas: conocer, estimar, evaluar, comparar.

## 2.1 Conocer

Esta primera etapa tiene como objetivo comprender las características del área de estudio: aspectos históricos, geográficos, morfológicos y sociales del lugar. Con este análisis se obtienen los datos indispensables para realizar la estimación numérica, de los siguientes indicadores/parámetros/variables:

### *Datos poblacionales*

- Cantidad de población según los dos últimos censos.
- Cantidad de años entre los dos censos poblacionales.

### *Datos urbanos*

- Superficie del área urbana ( $m^2$ )
- Superficie de espacios públicos de recreación ( $m^2$ )
- Superficie edificada total ( $m^2$ )
- Superficie de parcelas urbanas ( $m^2$ )
- Superficie de parcelas urbanas sin edificar ( $m^2$ )
- Superficie de circulación ( $m^2$ )

## 2.2 Estimar

En esta segunda etapa se estima de crecimiento para los distintos modelos. Para ello, es necesario, primeramente, fijar el periodo de tiempo que se desea estudiar y, luego, proyectar el crecimiento poblacional del área de estudio, tomando como base de partida los comportamientos poblacionales registrados en el punto anterior. En base al crecimiento poblacional se estima los requerimientos edilicios-urbanos necesarios para mantener el equilibrio de  $m^2/hab$ . Con ese fin, se calcula que la ciudad necesitará construir cierta cantidad de superficies en: superficie parcelaria, superficie de los canales viales, espacios públicos de recreación y edificios públicos y privados.

Cálculo de población total<sup>1</sup> para el año de estudio (PET):

$$PET = \left\{ \left[ \left( \frac{PB}{PA} - 1 \right) * \Delta C \right] + 1 \right\} * PA \quad (1)$$

Donde:

PA: La cantidad de población del primer censo a considerar.

PB: La cantidad de población del segundo censo a considerar.

$\Delta B$ : La diferencia de años entre el primer censo y el segundo.

$\Delta C$ : La diferencia de años entre el segundo censo y el periodo año a estudiar.

Cálculo de la superficie destinada a nuevos espacios públicos de recreación (EPE):

$$EPE = \Delta P * \left( \frac{EPR}{PB} \right) \quad (2)$$

Donde:

PB: La cantidad de población del segundo censo a considerar.

$\Delta P$ : La diferencia poblacional entre los dos censos.

<sup>1</sup> La estimación del crecimiento poblacional es geométrica.

EPR: La superficie destinada a espacio público de recreación en la mancha urbana actual expresada en metros.

Cálculo la cantidad de superficie de nuevas edificaciones construidas (SNC):

$$SNC = \Delta PF * \left(\frac{SC}{PB}\right) \quad (3)$$

Donde:

PB: La cantidad de población del segundo censo a considerar.

$\Delta PF$ : La diferencia poblacional entre el año actual y el valor hallado en la ecuación 1 correspondiente a la estimación de población total para el año en estudio.

SC: La superficie construida total de la mancha urbana expresada en metros cuadrados.

Cálculo de las nuevas superficies de parcelas con construcciones (SNP):

$$SNP = \frac{SNC}{\frac{SC}{SPC}} \quad (4)$$

Donde:

SNC: Valor hallado en la ecuación 3 correspondiente a la estimación de superficie construida para el año en estudio.

SC: La superficie construida total de la mancha urbana expresada en metros cuadrados.

SPC: Superficie de parcelas con construcción de la mancha urbana en metros cuadrados.

Cálculo de las nuevas superficies de parcelas edificación (NPS):

$$NPS = SNP * \left(1 + \left(\frac{SPS}{SPC}\right)\right) \quad (5)$$

Donde:

SNP: Valor hallado en la ecuación 4 correspondiente a la estimación de superficie de parcelas construidas para el año en estudio.

SPS: Superficie de parcelas sin edificar expresada en metros.

SPC: Superficie de parcelas con construcción de la mancha urbana en metros cuadrados.

Cálculo de las nuevas superficies destinadas a circulaciones (SNV):

$$SNV = \frac{SV * (EPE + SNP + NPS)}{EPR + SPC} \quad (6)$$

Donde:

SV: Superficie de los cañones viales de la mancha urbana actual expresadas en metros.

EPE: Valor hallado en la ecuación 2, correspondiente a la estimación de superficie de nuevos espacios verdes para el año en estudio, en metros.

SNP: Valor hallado en la ecuación 4, correspondiente a la estimación de superficie de parcelas construidas para el año en estudio.

NPS: Valor hallado en la ecuación 5, correspondiente a la superficie de las nuevas parcelas urbanas sin edificación.

EPR: La superficie destinada a espacio público de recreación en la mancha urbana actual expresada en metros.

SPC: Superficie de parcelas con construcción de la mancha urbana en metros cuadrados.

Cálculo de la superficie de crecimiento de la mancha urbana (CSU):

$$CSU = EPE + SNP + NPS + SNV \quad (7)$$

Donde:

EPE: Valor hallado en la ecuación 2, correspondiente a la estimación de superficie de nuevos espacios verdes para el año en estudio, en metros.

SNP: Valor hallado en la ecuación 4, correspondiente a la estimación de superficie de parcelas construidas para el año en estudio.

NPS: Valor hallado en la ecuación 5, correspondiente a la superficie de las nuevas parcelas urbanas sin edificación,

SNV: Valor hallado en la ecuación 6, correspondiente a la superficie de los nuevos canales viales.

Cálculo de la superficie de total de la mancha urbana (MUE):

$$MUE = SMU + CSU \quad (8)$$

Donde:

SMU: Superficie de la mancha urbana actual expresada en metros.

CSU: Valor hallado en la ecuación 7, correspondiente a nueva superficie de la mancha urbana.

### 2.3 Evaluar

En esta instancia, se evalúan los niveles de sustentabilidad, en relación a los usos del suelo (densidad habitacional, compacidad absoluta y compacidad corregida), según los valores óptimos estipulados por Salvador Rueda (2012).

Densidad habitacional (Dh):

Valor deseable 220 a 350 habitantes/ha.

$$Dh = \frac{PET}{MUE} \quad (9)$$

Donde,

PET: Población estimada total para el año de análisis.

Dh: Superficie de parcelas sin edificar expresada en metros

SP: Superficie de urbanizada estimada para el año en estudio.

Compacidad absoluta (Ca): Valor deseable 5m.

$$Ca = \frac{(SC+SNC)*3}{MUE} \quad (10)$$

Donde:

SC: La superficie construida total de la mancha urbana expresada en metros.

SNC: Valor hallado en la ecuación 3, correspondiente a la estimación de superficie construida para el año en estudio. Superficie de parcelas sin edificar expresada en metros.

MUE: Superficie de urbanizada estimada para el año en estudio.

Compacidad corregida (Cc): Valor deseable 10 a 50 m.

$$Cc = \frac{(SC+SNC)*3}{SV+EPE} \quad (11)$$

Donde:

SC: La superficie construida total de la mancha urbana expresada en metros.

SNC: Valor hallado en la ecuación 3, correspondiente a la estimación de superficie construida para el año en estudio. Superficie de parcelas sin edificar expresada en metros.

MUE: Superficie urbanizada estimada para el año en estudio.

Para los casos estudiados, se infieren las diferencias entre los consumos energéticos implícitos en cada modelo. Con tal fin, se lleva a cabo un cálculo de los mismos para cada modelo, los que corresponden a un año de requerimientos en relación a la operación del edificio, al transporte privado y al transporte público. Con el objetivo de realizar esta valuación, se utilizan los valores obtenidos por Jonathan Norman (2006) para distintas densidades urbanas de poblaciones de Canadá y se extrapolan de forma lineal para los valores de densidad arrojados por los dos modelos en estudio. Los valores de consumo arrojados presentan un panorama estimativo de

las diferencia de niveles, ya que no son calculados mediante valores obtenidos en distintos contextos geográficos y sociales.

Consumo energético operativo (Ce):

$$Ce = [\sum \left( \frac{\Delta CE}{\Delta Dh} \right) * (\Delta Dh1)] * PET \quad (12)$$

Donde:

$\Delta CE$ : La diferencia de consumo entre modelos de alta densidad y el de baja densidad. En nuestro caso, se toman los establecidos por Norman (2006) para:

- Operatividad del edificio:	22.300
Mg/año/persona	
- Transporte privado:	20.010
Mg/año/persona	
- Transporte público:	910
Mg/año/persona	

$\Delta Dh$ : Diferencia de densidad poblacional de los 2 modelos. Para nuestro caso, se considera 213 hab/ha (Norman, 2006).

$\Delta Dh1$ : Diferencia de densidad entre la alta densidad del modelo de referencia (270 hab/ha) (Norman, 2006) y la densidad poblacional estipulada para el caso de estudio.

PET: Población estimada total para el año de análisis.

A su vez, se cuantificará el consumo energético asociado a la construcción de viviendas y la urbanización de nuevos territorios. Para ello, se toma como base de cálculo los valores estipulados por Cepeda Gutiérrez (2012) para las distintas obras.

Consumo energético incorporado en la urbanización y construcción edilicia (Cec):

$$Cec = \sum Cec n \quad (13)$$

Viviendas aisladas: 0.14 tep/m<sup>2</sup>.

Viviendas adosadas: 0.12 tep/m<sup>2</sup>.

Viviendas en bloque: 0.07 tep/m<sup>2</sup>.

Urbanización: 0.02 tep/m<sup>2</sup>.

Espacios públicos atenuantes: 30,27 MJ/m<sup>2</sup>.

## 2.4 Comparar

Esta etapa, tiene como objetivo comparar los resultados de los distintos escenarios de crecimiento.

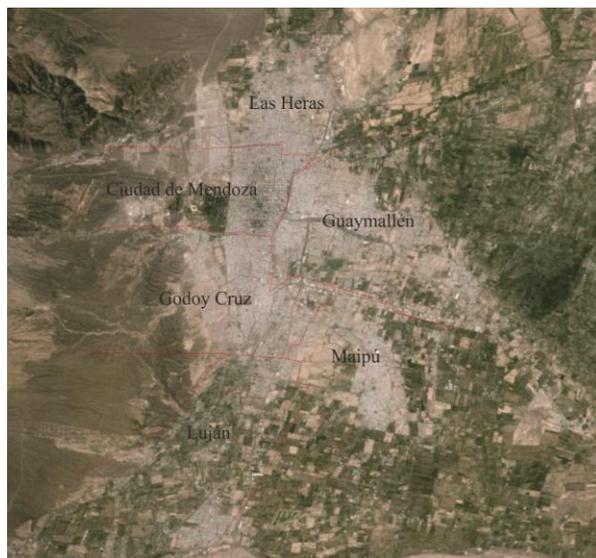
## 3. Desarrollo

### 3.1 Situación de referencia

El presente trabajo toma como lugar de aplicación el Área Metropolitana de Mendoza

(AMM), capital de la Provincia de Mendoza, Argentina. Ésta, se encuentra situada al centro oeste de Argentina, emplazada sobre el piedemonte de la Cordillera de los Andes, en una zona árida y sísmica. Mendoza presenta ecosistemas de montaña, piedemonte y llanura de alta fragilidad con una tendencia creciente a la presión antrópica. Gran parte de la superficie provincial está afectada por procesos de desertificación, destacándose la deforestación y el desmonte, la falta de manejo ganadero, incendios y el crecimiento urbano sobre áreas frágiles, como sus causas más importantes (Universidad Nacional de Cuyo, 2004). Los oasis de cultivo representan solamente el 3% de la superficie provincial (Universidad Nacional de Cuyo, 2004). El sector de estudio se desarrolla inserto en el oasis regado por el Río Mendoza, situado en el extremo noroeste de la provincia argentina, conformando una "isla verde" en el gran espacio semidesértico.

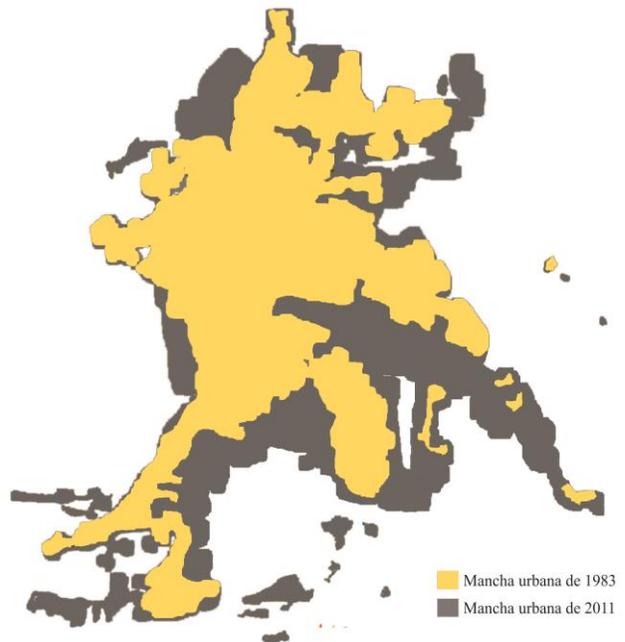
El AMM está constituido por 6 regiones político-administrativas: Ciudad de Mendoza, Godoy Cruz, Guaymallén, Las Heras, Luján y Maipú. La mancha urbana que conforman tiene una superficie de aproximadamente 20.600 ha, inserta en el oasis regado por el Río Mendoza de 158.000 ha (Figura 1).



**Figura 1:** AMM con división por departamentos.  
**Figure 1:** MMA with department divisions.

En los últimos años, el AMM ha incrementado su superficie con un ritmo anual del 4,5%. Entre 1983 y 2010 la trama urbana pasó de tener una superficie de 7.753 ha a 20.624 ha, lo que representa un 135% de aumento (Figura 2).

Dicho crecimiento se da fundamentalmente en dos direcciones: hacia el piedemonte, donde se pueden generar problemas muy importantes por la impermeabilización de gran parte del suelo y la deforestación, lo que provocaría una disminución de la infiltración y un aumento de los aportes aluvionales en volumen y velocidad, que, a su vez, afectaría a Capital, Las Heras y Luján (Figura 3); y también hacia al este y sureste, invadiendo y disminuyendo la superficie del oasis de riego, suelos de potencial agrícola tan escasos en la zona (Figura 4) (Universidad Nacional de Cuyo, 2004).



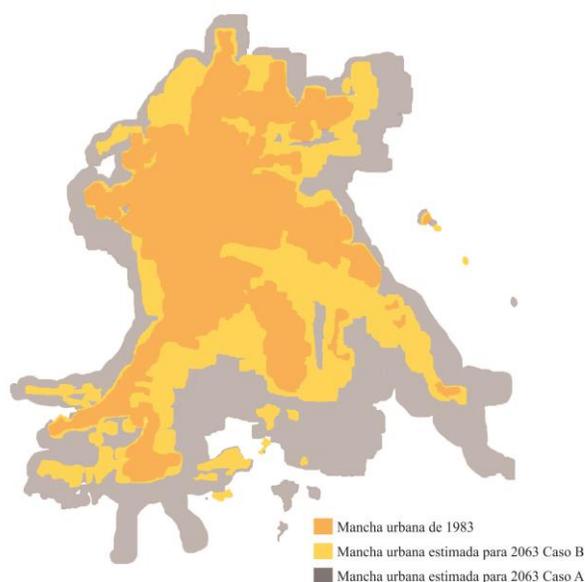
**Figura 2:** Crecimiento del AMM. Evolución de la mancha urbana.  
**Figure 2:** Growth of the MMA. Evolution of the urban sprawl.



**Figura 3:** Transformación de tierras del oasis productivo en zonas urbanas.  
**Figure 3:** Transformation of productive lands into urban areas.

Además, el incremento de la superficie urbanizada va acompañado de un abandono de

las áreas centrales. Así pues, si se compara los datos de los censos 1991 y 2001, se advierte que en el 46% de los radios censales de la trama urbana consolidada se registró disminuciones en la cantidad de habitantes, mientras que en la periferia, se manifiesta un aumento de población, resultado de migraciones internas, asociadas a que los habitantes de los barrios centrales trasladan su lugar de residencia hacia la periferia buscando seguridad y aire puro. A pesar de eso, las zonas centrales son las que concentran mayores servicios, equipamientos y superficie construida subutilizada.



**Figura 4:** Avance de las mancha urbana sobre el piedemonte.  
**Figure 4:** Advance of urban sprawl over the foothills.

En el sector, uno de los problemas ambientales más graves es la contaminación atmosférica. La fuente más importante de contaminación la constituyen los vehículos (fuentes móviles), ya que son responsables del 70% de las emisiones de los contaminantes principales, provocan también contaminación sonora y congestión de tránsito (Universidad Nacional de Cuyo, 2004). Los niveles de polución por habitante del sector son mayores que los alcanzados en ciudades como Buenos Aires o Santiago de Chile (Universidad Nacional de Cuyo, 2004).

El AMM está conformada por un 33% de circulaciones, 4% de espacios públicos de recreación (plazas, parques y peatonales) y un 63% de parcelas urbanas. Por otro lado, dentro de la trama urbana consolidada existen 301.677 lotes sin edificaciones, con una superficie de

37.105 m<sup>2</sup>, lo que representa un 29% de la superficie parcelada total. A su vez, la relación entre superficie edificada y cantidad de habitantes es de 39.62 m<sup>2</sup>/hab. Posee 8.023.945 m<sup>2</sup> de espacios públicos atenuantes, lo que corresponden a 7.38 m<sup>2</sup>/hab. La distribución de los mismos en el territorio es despereja: en el distrito de Ciudad se sitúa la mayor cantidad (50.15 m<sup>2</sup>/hab), mientras que el departamento de Las Heras es el que menor número posee (0.62 m<sup>2</sup>/hab).

### 3.2 Conocer

#### - Datos Poblacionales:

Cantidad de población del censo de 2001: 986.341 habitantes

Cantidad de población del censo 2010: 1.086.633 habitantes

Cantidad de años intercensal: 9

#### - Datos Urbanos:

Superficie del área urbana: 206.245.066m<sup>2</sup>

Superficie espacios públicos atenuantes: 8.023.945m<sup>2</sup>

Superficie edificada total: 43.052.585m<sup>2</sup>

Superficie de parcelas edificadas: 92.679.590m<sup>2</sup>

Superficie de parcelas sin edificar: 37.105.568m<sup>2</sup>

Superficie de circulación: 68.435.963m<sup>2</sup>

### 3.3 Caso A: Estimación del crecimiento del Área Metropolitana de Mendoza en un periodo de 50 años, según los parámetros de crecimiento actuales.

#### 3.3.1 Estimar

La simulación de crecimiento que aquí se plantea comprende el periodo entre los años 2013 y 2063. Con respecto al crecimiento poblacional, encontramos que para el año 2063 la cantidad de habitantes del AMM ascendería a 1.588.093, lo que significaría un aumento de 501.460 personas. Siguiendo los parámetros de crecimiento actuales, este incremento poblacional se vería acompañado por una expansión de la mancha urbana de 10.681 ha. La misma estaría compuesta de la siguiente manera:

- Superficie destinada a nuevos espacios públicos de recreación (EPE): 3.702.894m<sup>2</sup>

- Cantidad de superficie de nuevas edificaciones construidas (SNC): 19.867.931m<sup>2</sup>

- Nuevas superficie de parcelas con construcciones (SNP): 42.769.828m<sup>2</sup>

- Nuevas superficies de parcelas sin edificaciones (NPS): 17.123.498 m<sup>2</sup>
- Nuevas superficies destinadas a circulaciones (SNV): 43.218.628 m<sup>2</sup>
- Superficie de crecimiento de la mancha urbana (CSU): 106.814.849 m<sup>2</sup>
- Superficie de total de la mancha urbana (MUE): 313.059.915 m<sup>2</sup>

### 3.3.2 Evaluar

En esta tercera etapa, se evaluarán los niveles de sustentabilidad de la mancha urbana y los correspondientes consumos energéticos.

- Densidad Habitacional : 50 hab./ha → Valor deseable 220 a 350 habitante/ha
- Compacidad Absoluta (Ca): 0.60 → Valor deseable 5 m
- Compacidad Corregida (Cc): 16,10 → Valor deseable 10 a 50 m

Se puede estipular que la energía operativa consumida sólo para el año 2063 por el Área Metropolitana de Mendoza, alcanzaría los 1.687.647 tep, los cuales se pueden desglosar de la siguiente forma:

- Operación de edificios: 870.767 tep
- Transporte privado: 781.374 tep
- Transporte público: 35.533 tep

A su vez, la energía incorporada en el crecimiento urbano proyectado alcanza los 3.648.560 tep:

- Espacios públicos de recreación: 2.677 tep
- Construcción de viviendas: 2.781.510 tep
- Construcción de vías de circulación: 864.372 tep

### 3.4 CASO B: Estimación del crecimiento del Área Metropolitana de Mendoza en un periodo de 50 años, sin incrementar la superficie urbanizada.

Tal como en la simulación anterior, en esta etapa se realiza una proyección de crecimiento para un periodo de tiempo de 50 años, lo cual permitirá comparar los resultados de las 2 propuestas. De esta forma, el crecimiento poblacional sería idéntico al anterior, 320.934,40 habitantes, pero, a diferencia de él, éste no aumentará la superficie urbanizada, sino que densificará las zonas ya urbanizadas.

Cabe destacar que la construcción en terrenos sin edificar considera que un 50% de las

viviendas corresponderá a viviendas apareadas y la otra mitad, a viviendas aisladas.

#### 3.4.1 Estimar

La simulación planteada comprende el periodo entre los años 2013 y 2063. Según la estimación estadística, la población urbana sería de 1.588.093 habitantes. Este incremento poblacional no se vería acompañado por la expansión de la mancha urbana, sino por la sola construcción en parcelas sin edificación, superficie que asciende a 7.318 ha. Esto implica la construcción de:

- Nuevos espacios públicos de recreación (EPE), con una superficie de 3.702.894 m<sup>2</sup>
- Nuevas edificaciones (SNC) con una superficie de 19.867.930.96 m<sup>2</sup>

Aquí observamos que la trama urbana actual puede albergar el crecimiento poblacional de aquí a 50 años, respetando los índices de construcción urbanos actuales e incluyendo espacios públicos atenuantes, sin agotar la disponibilidad de terrenos libres. Por esta razón, podemos concluir que la zona urbanizada del AMM puede mantenerse sin incrementos por más de 50 años.

#### 3.4.2 Evaluar

Como en el caso anterior, en esta etapa se evalúan los niveles de sustentabilidad de la mancha urbana y los consumos energéticos que genera el crecimiento poblacional en el periodo comprendido entre 2013 y 2063.

- Densidad habitacional: 77 hab/ha → Valor deseable 220 a 350 hab/ha
- Compacidad absoluta (Ca): 0.92 → Valor deseable 5 m
- Compacidad corregida (Cc): 16.10 = → Valor deseable 10 a 50 m
- Espacio público atenuante (EPA) = 7.37 → Valor deseable 10 m<sup>2</sup>/hab.

Por otro lado, la energía incorporada para la construcción de las nuevas edificaciones, que albergarían el crecimiento poblacional, ascendería a 3.389.628 tep; distribuida de la siguiente manera:

- Espacios públicos de recreación: 2.677 tep
- Construcción de viviendas aisladas: 1.390.755 tep
- Construcción de viviendas apareadas: 1.192.075 tep

A su vez, la energía operativa consumida sólo hasta el año 2063 por el Área Metropolitana de Mendoza, alcanzaría los 1.485.440 tep, que se pueden desglosar de la siguiente forma:

- Operación de edificios: 766.435 tep
- Transporte privado: 687.729 tep
- Transporte público: 31.276 tep

### 3.4.3 Comparar

Al comparar los 2 modelos de crecimiento urbano planteados en este estudio para el Área Metropolitana de Mendoza, se destaca que a nivel de preservación del suelo, el caso B no afecta nuevas tierras, mientras que el caso A conlleva un aumento del suelo urbano del 34% (Figura 5).

En relación a la energía incorporada en el crecimiento urbano a 50 años, ésta es un 29% mayor en el primer modelo que en el segundo (Tabla 1).

**Tabla 1:** Comparación de la energía incorporada para los 2 casos de análisis.

**Table 1:** Comparison of embodied energy for the 2 cases of analysis.

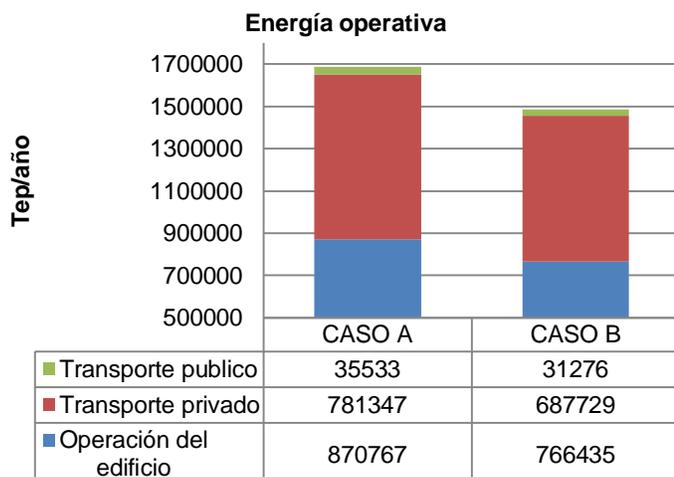
	CASO A	CASO B	DIFERENCIA
Energía incorporada			
Espacios públicos	2.677 tep	2.677 tep	0%
Construcciones	2.781.510 tep	2.582.831 tep	7%
Circulaciones	864.373 tep	0 tep	100%
Total	3.648.560 tep	2.585.508 tep	29%

A su vez, el consumo energético a nivel operativo estipulado para el año 2063 en estas 2 simulaciones, refleja que el Caso B consume un 12% menos que el A (Figura 5).

### 4. Conclusiones

El análisis de las características actuales del AMM y su proyección a futuro, denotan que el modelo urbano actual de baja densidad dista de los estándares de ciudad compacta. Los valores de los indicadores urbanos de compacidad absoluta y de densidad poblacional planteados por Salvador Rueda no son factibles de alcanzar en ciudades como el Área Metropolitana de Mendoza. Esto se debe a que los porcentajes de incremento poblacional requeridos para obtener dichos estándares superan a los posibles de alcanzar en 200 años. No obstante, la planificación urbana debe establecer estrategias que reviertan la expansión desmedida actual. Debiendo focalizar los esfuerzos en la protección de las áreas de cultivo, en el incentivo del uso del transporte público y en la desconcentración de actividades en el centro de la ciudad. Por ello, la acción de densificación debe realizarse en áreas estratégicamente ubicadas que funcionen como múltiples nodos de actividades. La correcta distribución de núcleos más densamente poblados disminuirá el transporte de los sectores de baja densidad, que encontrarán la posibilidad de satisfacer sus necesidades en distancias menores a las actuales. Por otro lado, debe incluirse mayor cantidad de espacios verdes de recreación a la trama actual. Con ese fin, se recomienda la transformación de parcelas de suelo vacante.

La evaluación de las dos estrategias de crecimiento urbano del AMM pone de manifiesto que, a nivel de los consumos energéticos, el modelo que detiene la expansión urbana y densifica el área reduce los requerimientos, tanto a nivel de energía incorporada como de energía operativa. Dicho modelo consume un 34% menos de suelo urbano y en él disminuye la energía incorporada en un 29%. A nivel energético, la mayor disminución se explica por el hecho de que no es necesario realizar nuevas carreteras ni obras de infraestructura. Y, a nivel de operatividad del edificio, los consumos se reducen un 12%. En los ítems, tanto de transporte público como privado la disminución también es del 12%.



**Figura 5:** Comparación de la energía operativa estipulada para los 2 casos de estudio.

**Figure 5:** Comparison of stipulated urbanized areas for the 2 case studies.

En pocas palabras, la introducción de herramientas simples en el planeamiento urbano permite evaluar la incidencia de los modelos

actuales y redirigir los procesos de crecimiento no sustentables.

### Agradecimientos

Este artículo es parte del trabajo de investigación que se desarrolla gracias al proyecto de investigación PICT: 2008-0583 "Lineamientos y estrategias para el desarrollo energético-ambiental de ciudades andinas como parte integral de la planificación urbana sostenible. Caso: Área Metropolitana de Mendoza", financiado el FONCyD, en el marco de una Beca doctoral.

### Referencias Bibliográficas

- Burgees, R. (2000). The Compact Cities Debate: A Global perspective. En Jenks, M. & Burgess, R. (ed.) *Compact Cities. Sustainable Urban Forms for Developing Countries*. (1a.ed., pp.9- 24) London: Spon Press.
- Cepeda Gutiérrez, M. y Mardaras Larrañaga I. (2004). Cuantificación energética de la construcción de edificios y el proceso de urbanización. *Con arquitectura*, 12, 65-80.
- De Schiller, S. (2000). Forma edilicia y tejido urbano: análisis de sustentabilidad. *AVERMA*, 4(5), 13.
- Mathey, K. (2000). Urban Agriculture, *Trialog* 65: A Journal for Planning and Building in the Third World. Special Issue, 2, 3-43.
- Mesa, A. y de Rosa, C. (2005). Estudio de los patrones de apropiación del suelo urbano por la expansión de las

áreas residenciales. Análisis del Área Metropolitana de Mendoza. *AVERMA*, 05, 91-95.

Moliní, F. y Salgado, M. (2012). Los impactos ambientales de la ciudad de baja densidad en relación con los de la ciudad compacta. *Biblio 3W*, 12(958)

Norman, J., Maclean, H., Asce, M. y Kennedy, C. (2006). Comparing High and Low Residential Density: Life-Cycle Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions. *Journal of urban planning and development*. March 2006, 10-21.

ONU Hábitat (2012). Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe 2012. Rumbo a una nueva transición urbana. Brasil: Programa de las Naciones Unidas para los asentamientos humanos.

Papparelli A., Kurbán A. y Cúnsulo M. (2009). *Planificación sustentable del espacio urbano*. San Juan: Nobuko.

Ponte, J. (1987). *Mendoza, aquella ciudad de barro. Historia de una ciudad andina, desde el siglo XVI hasta nuestros días*. Mendoza. Mendoza: Imprenta de la Municipalidad de la Ciudad de Mendoza.

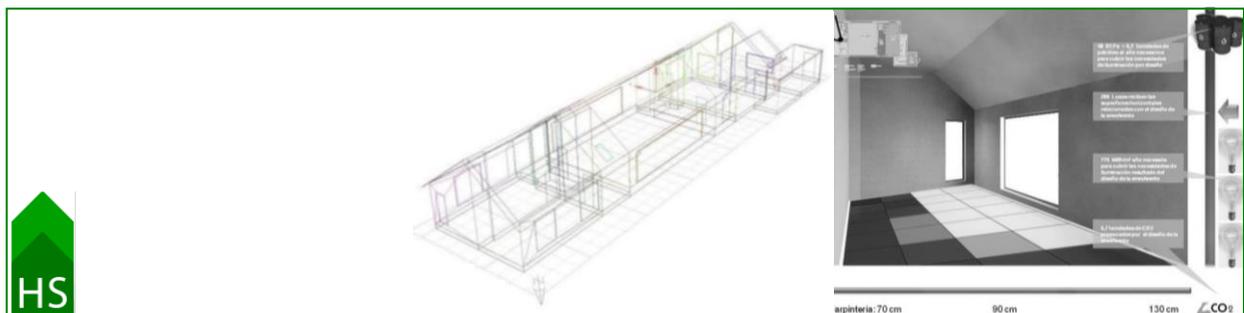
Rueda S. (1998). La ciudad compacta y diversa frente a la conurbación difusa. *Biblioteca ciudades para un futuro más sostenible*. Último acceso: 07/06/09. Disponible en <http://habitat.aq.upm.es>.

Rueda S. (2012). *El urbanismo ecológico*. Barcelona: Agencia d'Ecologia urbana de Barcelona.

Recibido: 27|12|2013  
Aceptado: 23|05|2014

# Propuesta metodológica de evaluación higrotérmica para la conservación preventiva del papel

Proposal of a thermo-hygrometric assessment methodology for the preventive conservation of paper



María de la Paz Diulio [diulioimp@gmail.com](mailto:diulioimp@gmail.com)

Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable – Universidad Nacional de la Plata - Buenos Aires, Argentina

Analía Fernanda Gómez [anygomez@gmail.com](mailto:anygomez@gmail.com)

Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable – Universidad Nacional de La Plata – Buenos Aires, Argentina



*Palabras Claves*  
Índice de comportamiento  
Conservación preventiva  
Bibliotecas

## RESUMEN

Se propone un método para evaluar la calidad termo higrométrica de depósitos bibliotecarios que considere la estabilidad de las variables como complemento al cálculo del performance index. El análisis se realizó con las muestras recogidas en bibliotecas de la Universidad Nacional de La Plata en sucesivas campañas de monitoreo medioambiental donde se midió temperatura y humedad relativa interior y exterior. El resultado es una grilla donde la ubicación de cada espacio evaluado respecto a los ejes indica su estado respecto a los dos criterios que determinan la conservación de los materiales: la permanencia dentro de rangos adecuados de temperatura y humedad relativa y la variación diaria de las mismas dentro de un margen máximo admisible. Se logra establecer un nuevo agrupamiento de los edificios de acuerdo con su condición para permitir tomar medidas de acondicionamiento aplicables al grupo. Este procedimiento permite profundizar el nivel de evaluación cuando el análisis según índice de performance da resultado nulo sin permitir comprender otras variables que influyen positivamente en la conservación del papel, como es la estabilidad de los valores.

*Key Words*  
Performance index  
Preventive conservation  
Libraries

## ABSTRACT

A method is proposed for assessing the thermo-hygrometric quality of stack areas in libraries which considers the stability of the variables as a complement to the performance index calculation. The analysis was conducted using samples collected in libraries at the National University of La Plata in successive environmental monitoring campaigns during which temperature and relative interior and exterior humidity were measured. The result is a grid where the location of each evaluated space with respect to the axes indicates its status in relation to the two criteria that determine materials conservation: permanence within proper ranges of temperature and relative humidity and the daily variation of the same within a maximum admissible margin. A new grouping of the buildings was established in accordance with their ability to allow improvement measures to be taken that are applicable to the group. This procedure enables a deeper level of evaluation when the analysis according to performance index gives null results and prevents the understanding of other variables that positively influence paper conservation, as is the case with the stability of the values.

---

### 1. Introducción

El conjunto de bibliotecas estudiadas conforman el universo de análisis de la

investigación que fundamentará una tesis doctoral y forma parte del proyecto tetra anual (2014-2017) de investigación denominado "Plan de

contingencia ambiental para bibliotecas, archivos y museos ante el cambio climático". Este proyecto está acreditado por la Universidad Nacional de La Plata - Argentina y se ocupa de crear líneas guía para el diseño y mejora de la calidad del ambiente interno de edificios de bibliotecas universitarias, para la conservación preventiva del papel y para el confort de lectores y usuarios mediante medidas de diseño pasivo. Para ello se estudia la calidad higro-térmica y lumínica de los edificios de bibliotecas universitarias existentes, para luego asociar los resultados con las características físicas y arquitectónicas de las distintas envolventes.

El estudio se realiza en la Ciudad de La Plata, capital de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, de clima templado mesotermal subtropical sin estación seca según la clasificación de Köppen (Wikipedia, 2014). Es una ciudad universitaria y administrativa de 655.000 habitantes. Es sede de la Universidad Nacional de La Plata, fundada en 1905 y sus 17 facultades cuentan con bibliotecas y fondos históricos de gran valor.

Los depósitos de las bibliotecas analizadas contienen este tipo de colecciones, y las instituciones deben preservar su integridad para que estudiantes, docentes e investigadores puedan utilizarlas a largo plazo. La longevidad y durabilidad del material orgánico (en este caso, papel) está relacionada con el ambiente que lo rodea, es sensible a altos o muy bajos valores de temperatura y humedad relativa que aceleran el envejecimiento químico. Las oscilaciones de humedad y de otras condiciones ambientales como la luz o partículas en el aire también pueden causar daño mecánico a las colecciones (Maekawa & Toledo, 2001). Los principales factores ambientales que atentan contra la correcta conservación de los materiales son la radiación electromagnética que emiten las fuentes luminosas, la calidad del aire y las condiciones termo higrométricas (Aghemo, Filippi, & Prato, 1994). El microclima sólo o junto con otros factores influye en el proceso de degradación. Los materiales responden de distinta manera a los valores que adoptan las variables ambientales y a sus cambios. Las variaciones rápidas de temperatura o de humedad relativa causan stress interno en las fibras del papel, y generan efectos irreversibles y acumulativos que aceleran el envejecimiento (Ente Nazionale di Unificazione, 2002). En este trabajo se analiza exclusivamente las variables temperatura (T) y humedad relativa (HR).

Abundante bibliografía brinda indicaciones acerca de cuáles son los rangos ideales de temperatura y humedad relativa que deben alcanzarse y cuáles son las variaciones máximas admisibles en una unidad de tiempo para cada uno; (De Guichen & ICCROM, 1980) (Thomson, 1986) (ASHRAE, 2011) (Royal Ontario Museum, 1978). Para este ejercicio se seleccionan los que se señalan en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Rangos admisibles en las variables a evaluar  
**Table 1:** Admissible ranges of the variables under evaluation.

RANGO DE ADMISIBILIDAD		
CRITERIO A EVALUAR / VARIABLE	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (HR)
Índice de comportamiento (IP)	15°C – 22°C	45% - 65%
Índice de desviación (ID)	<2°C	<6%

En el transcurso de la investigación nace la necesidad de cuantificar la calidad termo higrométrica de los espacios que se analizan. A partir de esa inquietud, un grupo de bibliotecas se monitorea, y se registran valores de temperatura y humedad relativa utilizando sensores también llamados dataloggers (DL) durante cuatro momentos de un ciclo anual de acuerdo a metodologías ampliamente difundidas (Ente Nazionale di Unificazione, 1999) (Corgnati & Filippi, 2010).

Como herramienta para medir la porción de tiempo que la T y la HR de un microambiente permanecen dentro y fuera de un rango preestablecido se utilizó el performance index o índice de comportamiento que se define como el porcentaje de tiempo en el que el parámetro medido se encuentra dentro del rango de tolerancia requerido sobre el total del tiempo de la evaluación (Ente Nazionale di Unificazione, 1999) (Corgnati & Filippi, 2010) (Corgnati, Fabi, & Filippi, 2009).

El problema encontrado surge en el período estival, donde todos los espacios monitoreados dan resultado nulo. Es decir, el índice de comportamiento de todos los depósitos es cero en verano, y en algunos casos también en otoño y en primavera, debido a que la temperatura registrada supera durante todo el período los 22°C. Sin embargo muchos de estos depósitos auditados mantienen su T constante entre 1° y 2°C por encima del máximo admisible, característica

valorable en comparación a aquellos depósitos donde la temperatura oscilaba entre 21° y 27°C diariamente. Por este motivo se propone un método para cuantificar la estabilidad o buffer que le otorga la envolvente al ambiente interno. Esta es una cualidad loable que se considera que debe ser valorada al establecer una metodología que asista a la calificación de ambientes de conservación.

## 2. Metodología

Conservadores y expertos recomiendan realizar monitoreo medioambiental para conocer las características físicas del ambiente donde se encuentran los materiales. Para la realización de este trabajo se utiliza la base de datos generada con las mediciones realizadas sobre las salas de depósitos, donde la presencia de personal es ocasional. En general, debido al clima templado que caracteriza la localidad los edificios analizados no cuentan con sistemas centralizados de climatización. Esto sumado a la ausencia de fuentes de calor antropogénicas hace que la moderación del clima interior con respecto al exterior recaiga exclusivamente sobre la masa constructiva del edificio.

### 2.1 El sitio

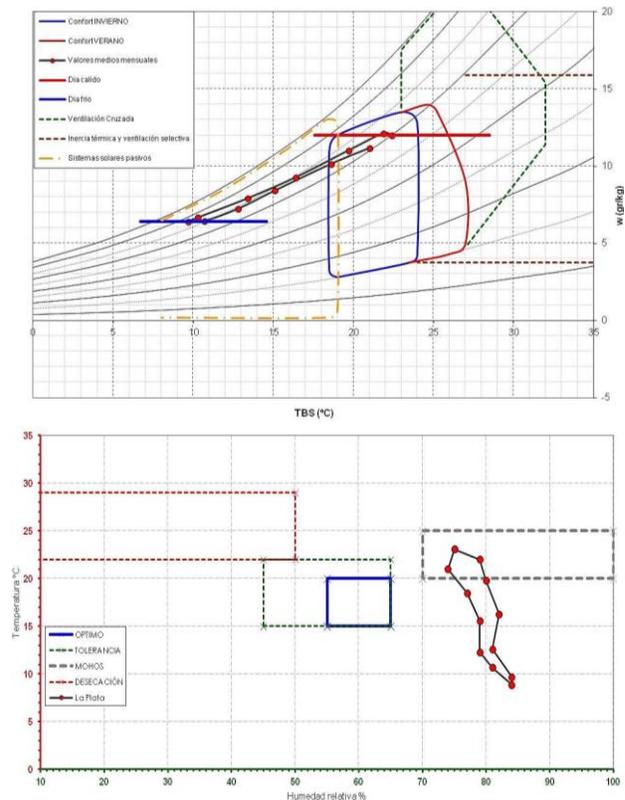
Tal como ya se ha descrito, el clima de la ciudad de La Plata es cálido y húmedo, y queda representado en un diagrama psicrométrico tal como se observa en la Figura 1.

A su vez, se muestran en la Figura 1 las medias exteriores mensuales de temperatura y humedad relativa de la misma localidad en el psicrograma creado por Bell y Faye (Bell & Faye, 1980, pág. 95) para describir los riesgos de una colección en función a la temperatura y la humedad relativa ambiental. Durante 5 meses del año la temperatura será inferior a la ideal mientras que durante todo el año la humedad relativa sobrepasa estos valores ideales, corriendo riesgo de desarrollo de mohos durante el período estival.

### 2.2 Monitoreo

Los monitoreos se realizan en cuatro momentos significativos del año, coincidentes con las estaciones. Se utilizan como instrumental dataloggers Onset Hobo U12 que registran y almacenan datos de T y HR del aire con la frecuencia especificada por el usuario. En este caso y para este estudio los datos se programaron para registrar cada 30 minutos, es

decir, 48 registros diarios durante dos semanas completas en cada período. La precisión del instrumental es  $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$  a  $25^{\circ}\text{C}$ , y  $\pm 2.5\%$  entre 10% y 90%.



**Figura 1:** A la izquierda, diagrama psicrométrico de Givoni con la descripción de las características del sitio, a la derecha, el climograma representa las condiciones óptimas, de tolerancia y de riesgo de mohos, y superpuesto un polígono con las medias mensuales de la localidad de La Plata.

**Figure 1:** To the left, a Givoni psychrometric chart with a description of site characteristics. To the right, a climograph shows the optimal tolerance and risk conditions for molds, and superimposed, a polygon with monthly averages for La Plata.

Se monitorean 9 bibliotecas (Tabla 2). De estos nueve edificios se limita el análisis a la información provista por el sensor ubicado en la zona de depósito. En las Figuras 1, 2 y 3 pueden observarse las características de las estanterías y la colocación de los dispositivos. Los edificios tienen características edilicias diferentes, como tipo de construcción y relación de superficie vidriada sobre superficie opaca, por lo que las resistencias térmicas ponderadas son también diferentes (Diulio & Gómez, 2014). En el presente trabajo, el objetivo se circunscribe a establecer una metodología de análisis que permita tener un enfoque de la condición medioambiental, independientemente de la conformación de su envolvente.

**Tabla 2:** Nombre de la institución, nombre corto, ubicación y nivel de altura. Donde hay más de un nivel, se señala el nivel utilizado para el análisis señalado con negrita; relación superficie vidriada sobre superficie opaca de la envolvente, el promedio ponderado del coeficiente de transmitancia térmica "U" de la envolvente y masa de muros exteriores, calculada por metro cuadrado de muro.

**Table 2:** The table presents the location and elevation of the rooms in the institutions monitored. In the cases where there was more than one level, the level analyzed is indicated in bold. In addition, it shows the relationship between the glazed and opaque surface of the envelope; the weighted average of the coefficient of thermal transmittance, or U-value, of the envelope; and the mass of exterior walls, calculated for square meter of wall.

INSTITUCIÓN	ALIAS	UBICACIÓN	ELEVACIÓN	REL VIDRIADO/ OPACO (%)	U POND. (W/M <sup>2</sup> °K)	MASA (KG/M <sup>2</sup> )
1) Biblioteca Prof. Guillermo Obiols de la Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación.	FaHCE	Calle 48 e/6 y 7	-4,46; -1,74 m.	0%	1,16	468
2) Biblioteca Fernán Félix de Amador de la Facultad de Bellas Artes	FBA	Pza. Rocha y Diag. 78	+1,50 m.	6,4%	1,38	718
3) Biblioteca Raúl A. Granoni de la Facultad de Ciencias Económicas.	FCE	Calle 6 e/47 y 48	-6,00 m, -3,00 m.	0%	1,36	612
4) Biblioteca Conjunta de las Facultades de Ciencias Agrarias y Forestales y Ciencias Veterinarias	BC	Diag. 113 e/61 y 118	+3,00 y +6,00 m.	10,2%	1,83	273
5) Biblioteca Joaquín V. González de la Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales	FCJyS	Calle 48 e/6 y 7	-3,30 m. -6,30 m.	0%	1,16	468
6) Biblioteca Pública de la UNLP	BP	Pza Rocha n°137	+4,50	-	1,38	718
7) Biblioteca de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo	FAU	Calle 47 y 117	+3,60; +1,05; -1,36	2,7%	1,42	206
8) Sistema de Información Integrado de la Facultad de Ingeniería. Biblioteca "Julio R.Castiñeiras"	FI	Calle 47 e/115 y 116	+/- 0,00m.	7,5%	2,25	377
9) Biblioteca del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas	DF	Calle 115 e/49 y 50	+1,62; +4,62	1,2%	1,25	565



**Figura 2:** Sensor fijo en estantería. Caso FCE.  
**Figure 2:** Sensor attached to a bookshelf. FCE Case.



**Figura 3:** Caso FAU.  
**Figure 3:** FAU case.



**Figura 4:** Estantería clásica en FaHCE.  
**Figure 4:** Typical bookshelves in FaHCE.



**Figura 5:** Protección anti vandálica del instrumental.  
**Figure 5:** Anti-vandal protection for the instruments.

Debido a una limitación de instrumental el monitoreo se realizó en dos años diferentes. Se toman como parámetro las fechas de medición en las que se realizaron la mayor parte de las campañas:

- Verano: del 4 al 17 de febrero de 2012. Excepto BP, FAU y FCJyS del 15 al 31 de Octubre de 2012.

- Otoño: del 15 al 28 de mayo de 2011. Excepto DF y FI del 15 al 28 de febrero de 2013.
- Invierno: del 14 al 27 de junio de 2011. Excepto BP, FAU y FCJyS del 8 al 21 de Agosto de 2012 y BC del 1° al 14 de Septiembre de 2011.
- Primavera: del 19 de Octubre al 1° de noviembre de 2011. Excepto BP, FAU, FCJyS del 15 al 31 de Octubre de 2012.

### 2.3 Proceso y análisis de los datos

Los datos se procesan en hoja de cálculo, ordenados cronológicamente de verano a primavera. Cada DL se representa en 3 columnas: temperatura, humedad relativa, y en la tercera una fórmula comprueba si los dos valores anteriores cumplen o no la condición de estar dentro del rango propuesto.

Con el conjunto de los datos de la muestra descargados y procesados se procede a calcular los datos estadísticos básicos: valores máximos y mínimos, desviación estándar y variación en el período de los valores de temperatura y humedad relativa recuperados (Tabla 3).

Como rango de admisibilidad de valores de temperatura y humedad relativa para la conservación del papel tomamos los propuestos por Bell & Faye (Bell & Faye, 1980) como rango de tolerancia para archivos en zona sub tropical: entre 15° y 22°C y entre 45 y 65% de HR. Estos límites del rango se pueden modificar fácilmente en la hoja de datos toda vez que el responsable de conservación de la institución indique una condición diferente.

Se calcula el índice de comportamiento, o performance index, que cuantifica el porcentaje de tiempo de medición en el que la T y la HR del aire están ambas dentro del rango especificado como aceptable para la conservación del material. El resultado se ilustra la Figura 6. Este valor nos permite conocer qué cantidad de tiempo las condiciones fueron aptas para la conservación del material.

$$PI = \frac{n \Rightarrow (15^{\circ}C < T < 22^{\circ}C) \wedge (45\% < HR < 65\%)}{N} \quad (1)$$

Donde,

PI= performance index

n= cantidad de registros que cumplen con la condición

T = temperatura del registro

HR = humedad relativa del registro

→ = si cumple la condición

N = cantidad de registros

Tabla 3: Cálculo de estadísticos básicos.  
Table 3: Calculation of basic statistics

	TEMPERATURA (°C)						HUMEDAD RELATIVA (%)					AMBAS	
	Media	Máx.	Mín.	ΔT	Desvío	Cumple Condición	Media	Máx.	Mín.	ΔHR	Desvío	Cumple Condición	Cumple T Y HR
DL Ext	17,8	33,6	2,6	31,0	5,81	44%	74,5	96,0	20,0	76,0	15,4	20%	6%
FaHCE	23,9	29,3	17,7	11,6	3,04	26%	52,4	67,1	42,6	24,5	5,7	94%	26%
FBA	23,4	31,3	15,5	15,8	3,46	38%	50,6	67,9	25,6	42,4	6,4	77%	28%
FCE	22,8	26,8	18,2	8,5	2,18	45%	53,5	75,1	31,0	44,1	8,8	73%	28%
BC	22,9	29,9	17,3	12,6	2,96	39%	52%	84,3	15,0	69,3	13,9	49%	16%
FCJyS	21,2	28,6	16,6	11,9	3,10	67%	69,4	87,3	42,1	45,2	7,7	26%	5%
Bp	20,1	28,0	13,5	14,5	3,79	57%	59,8	75,7	41,0	34,7	8,1	67%	31%
FAU	22,8	31,6	18,7	12,9	2,51	35%	51,8	68,9	16,1	52,8	5,0	93%	35%
FI	23,2	33,2	11,7	21,5	4,45	36%	53,9	71,4	36,5	34,9	6,7	78%	29%
DF	24,5	32,6	15,5	17,1	4,69	26%	55,8	69,9	40,0	29,9	6,8	72%	10%

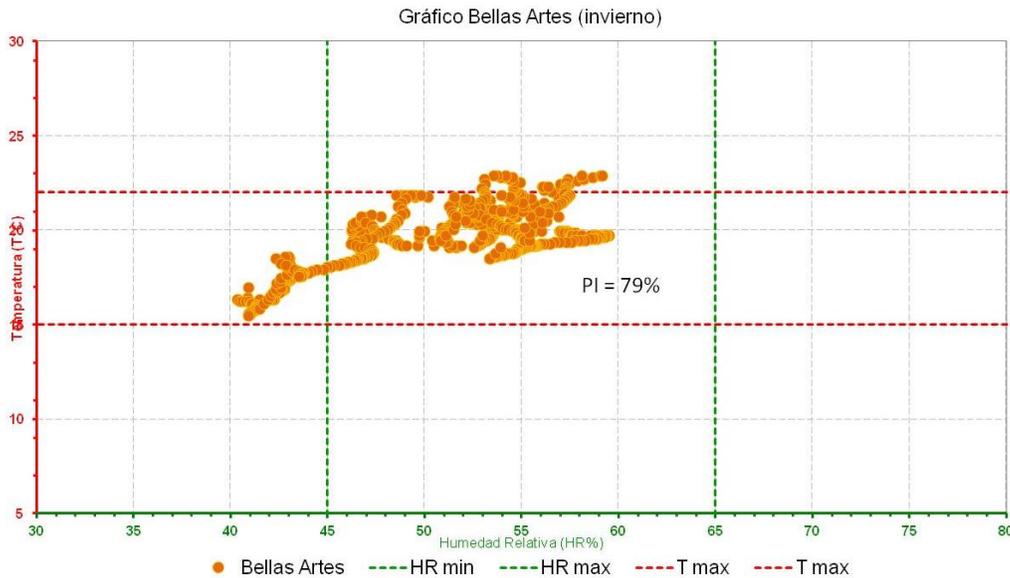


Figura 6: Puntos en el gráfico representan los registros del período invernal respecto de los parámetros de admisibilidad. Caso FBA.

Figure 6: Points on the chart represent winter records in relation to admissibility parameters. Bellas Artes Case.

La información obtenida hasta ahora excluye la oscilación diaria de las variables, de la que depende que se generen daños físicos en los materiales. Para calcular la estabilidad de la T y la HR se procede a determinar la diferencia (Δ) entre sus valores máximos y mínimos diarios. Se considera como variación diaria máxima admisible 2°C y 6% de HR (Royal Ontario Museum, 1978) (Michalski 1999). La Figura 7 muestra la dispersión de los datos con sus valores límite. Se contabilizan las jornadas en las que la variación es menor a la máxima admisible y se relacionan con el total de las jornadas de la campaña. De esta manera se obtiene un valor porcentual que

caracteriza a cada período.

$$ID = \frac{n \Rightarrow (\Delta T < 2^\circ C) \wedge (\Delta HR < 6\%)}{N} \quad (2)$$

Dónde,

ID = índice desviación

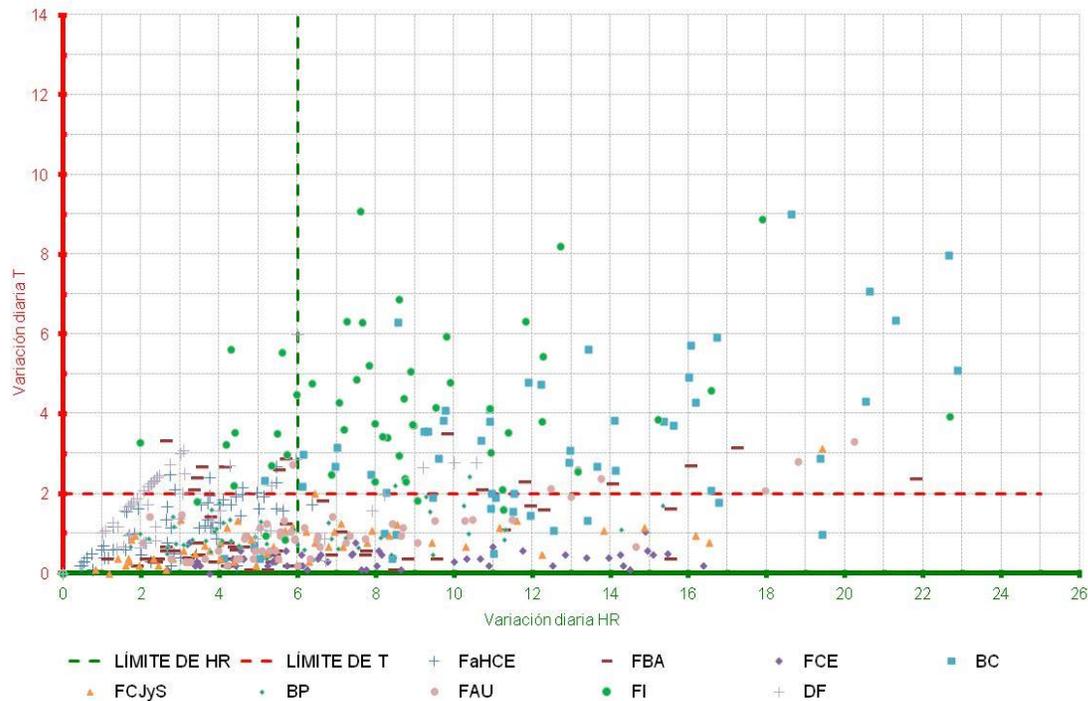
n = cantidad de días que cumplen con la condición

ΔT = temperatura máxima del día menos temperatura mínima del día

ΔHR = humedad relativa máxima del día menos humedad relativa mínima del día

⇒ = si cumple la condición

N = cantidad de días monitoreados



**Figura 7:** Variación diaria anual. Cada punto representa un día de medición. El índice de desviación equivale a los puntos de la muestra que se ubican por debajo del límite de  $T$  y a la izquierda del límite de  $\Delta HR$  sobre el total de puntos de la muestra.

**Figure 7:** Annual example of daily variation chart. Each point represents one day of measurement. The deviation index is equal to the points from the sample located below the  $\Delta T$  limit and to the left of the  $\Delta HR$  limit above all of the points from the sample.

Luego, obtenidas ambas nuevas variables (IP e ID) los datos se vuelcan en un nuevo gráfico que mostrará la relación entre ambas. Se analizan los datos de todo el año completo, como cada período individualmente: verano, otoño, invierno, primavera.

### 3. Resultados

El resultado obtenido es una grilla en la que cada espacio de guarda se ubica en relación a su condición de estabilidad (ID) y comportamiento (IP). Esto permite establecer un criterio para definir la calidad termo higrométrica de los depósitos de acuerdo al cuadrante en donde se ubican y planificar acciones de acondicionamiento por grupos, de acuerdo con su ubicación en la grilla.

Los ejemplos que recaen en el primer cuadrante (I) serán aquellos con valores máximos de IP e ID, es decir, son los depósitos ubicados en los edificios donde no es urgente intervenir en cuanto a las variables estudiadas. Los depósitos que se encuentren en el tercer cuadrante (III) serán los más vulnerables al degrado ya que el material se encuentra en un ambiente no solo

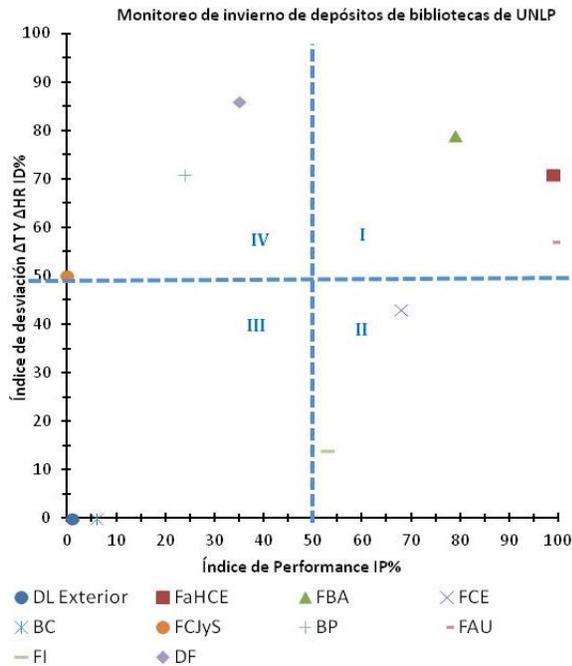
fuera de las condiciones de conservación adecuadas, sino con oscilaciones en  $T$  y  $HR$  mayores a las máximas admisibles. En los cuadrantes II y IV se cumple sólo una de las condiciones (Figura 8 y 9).

De acuerdo a la experiencia adquirida durante el período de monitoreo, comparando los resultados estacionales con los que incluyen el año completo se encuentra que los resultados de los períodos de otoño y primavera se asemejan al resultado del año completo. No así el período de verano, donde el puntaje es inferior; ni en invierno que presenta resultados superiores a la media anual.

### 4. Conclusiones

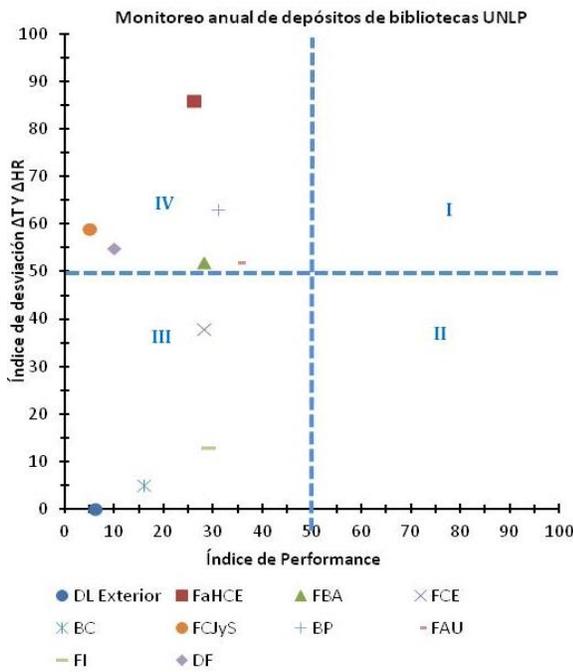
Se ha propuesto un método de evaluación de calidad higrotérmica de depósitos bibliotecarios que complementa el performance index valorando además la regulación natural que otorga la envolvente.

Esta consideración permite tener un panorama más completo de la calidad de los depósitos, permitiendo asociarlos de acuerdo con su comportamiento termo higrométrico.



**Figura 8:** Distribución de los espacios de acuerdo a su valoración en performance (eje X) y desviación (eje Y). Cada punto representa el comportamiento de una institución. El ejemplo corresponde al período invernal.

**Figure 8:** Grid with the distribution of spaces according to their performance assessment (x-axis) and deviation (y-axis). Each point represents the behavior of an institution. The example corresponds to winter.



**Figura 9:** Distribución de los espacios de acuerdo a su valoración en performance (eje X) y desviación (eje Y). El ejemplo corresponde al período del resumen anual.

**Figure 9:** Grid with the distribution of spaces according to their performance assessment (x-axis) and deviation (y-axis). The example corresponds to an annual summary.

Relacionando esta nueva información con las características físicas y constructivas de la envolvente se podrían sentar bases que permitan justificar una decisión sobre adecuación de los espacios para favorecer la conservación preventiva de los materiales.

Determinar las características que hacen que un edificio corresponda en el cuadrante I o III puede ser útil para modificar los que están en cuadrantes II y IV, en los que bastaría modificar una de las variables para alcanzar el estándar de conservación.

El resumen de medición anual muestra resultados semejantes a las campañas de otoño y primavera. Esto puede ser de utilidad si se requiere simplificar las campañas de monitoreo por razones de instrumental, tiempo o recursos, ya que con los valores de dos auditorías podemos tener una noción del comportamiento anual.

### Agradecimientos

Las autoras agradecen a la Universidad Nacional de La Plata y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas el financiamiento para la realización de esta investigación. También reconocen la colaboración del personal y directivos de las instituciones que participaron del proyecto de investigación; así como la participación de la Secretaría de Planeamiento, obras y servicios de la UNLP y a su responsable de la Dirección de Proyectos, Manuel García Munitis por la concedernos los planos de obras de las instituciones.

### Referencias Bibliográficas

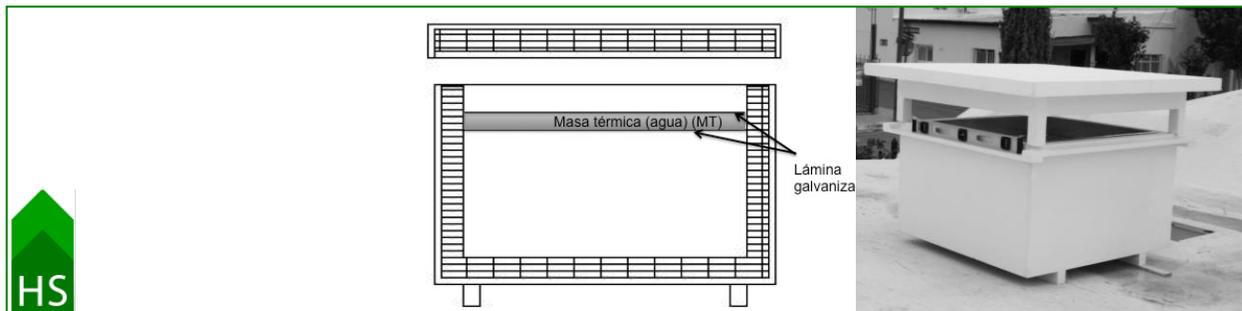
- Aghemo, C., Filippi, M., & Prato, E. (1994). Ricerca bibliografica comparata sulle condizioni termoisometriche per la conservazione delle opere d'arte. *49° Congresso Nazionale ATI (Associazione Termotecnica Italiana)* (págs. 341-359). Perugia: SGEEditoriali.
- ASHRAE. (2011). Chapter 23. Museums, galleries, archives and libraries. En r. a. American Society of heating, *Handbook - HVAC Applications* (págs. 23.1-23.22). Atlanta: SI Edition.
- Bell, L., & Faye, B. (1980). *La concepción de los edificios de archivos en países tropicales*. Paris: Unesco.
- Corgnati, S. P., & Filippi, M. (2010). Assessment of thermo-hygrometric quality in museums: Method and in-field application to the "Duccio di Buoninsegna" exhibition at Santa Maria della Scala (Siena, Italy). *Journal of Cultural Heritage*, 11, pp. 345-349.

- Corgnati, S. P., Fabi, V., & Filippi, M. (2009). A methodology for microclimatic quality evaluation in museums: Application to a temporary exhibit. (Elsevier, Ed.) *Building and environment* (44), 1253-1260.
- De Guichen, G., & ICCROM. (1980). *Climat dans le musee*. Rom.
- Diulio, M. P., & Gómez, A. F. (2014). Calidad termohigrométrica en bibliotecas: evaluación respecto de los parámetros de admisibilidad. *Conceptos. Boletín de la Universidad del Museo Social Argentino*, Año 89 (491).
- Ente Nazionale di Unificazione. (1999). *UNI 10829 Condizioni ambientali di conservazione mizurazione ed analisi*. Milano.
- Ente Nazionale di Unificazione. (2002). *UNI 10969. Principi generali per la scelta e il controllo del microclima per la conservazione dei beni culturali in ambienti interni*. Milano.
- Maekawa, S., & Toledo, F. (2001). Sustainable climate control for historic buildings in hot and humid regions. *The 18th Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Florianopolis - Brasil.
- Michalski, S. (1999). *Setting standards for conservation: new temperature and relative humidity guidelines are now published*. CCI Newsletter, Canadian Conservation Institute.
- Royal Ontario Museum. (1978). *"In search of the black box. A report on the proceedings of a workshop on microclimates held at the Ontario Museum"*. Toronto.
- Thomson, G. (1986). *The museum environment*. Oxford: Butterworth.
- Wikipedia*. (3 de Junio de 2014). Recuperado el 4 de Junio de 2014, de Wikipedia, La enciclopedia libre: [http://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n\\_clim%C3%A1tica\\_de\\_K%C3%B6ppen](http://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_clim%C3%A1tica_de_K%C3%B6ppen)

Recibido: 30|10|2013  
Aceptado: 24|04|2014

## Porcentaje de horas de confort térmico con técnicas de enfriamiento evaporativo indirecto en techos estanque en clima árido

Percentage of hours of thermal comfort with indirect evaporative cooling techniques in roof ponds in an arid climate



**Luis Carlos Herrera** [carlos.herrera@uacj.mx](mailto:carlos.herrera@uacj.mx)

Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte - Universidad Autónoma de Ciudad Juárez – Chihuahua, México

**Gabriel Gómez-Azpeitia** [ggomez@ucol.mx](mailto:ggomez@ucol.mx)

Facultad de Arquitectura y Diseño - Universidad de Colima – Colima, México

**Eduardo González Cruz** [edugoncruz@gmail.com](mailto:edugoncruz@gmail.com)

Facultad de Arquitectura y Diseño - Universidad del Zulia – Maracaibo, Venezuela



## RESUMEN

### *Palabras Clave*

Confort térmico  
Clima árido  
Techo estanque  
Técnicas de enfriamiento pasivo

En este documento se presenta un estudio comparativo del porcentaje de tiempo en que la temperatura operativa se ubica dentro de los límites de la zona de confort propuesta por la norma ASHRAE 55-2010 para edificios libremente ventilados. Las temperaturas estudiadas se registraron al interior de módulos experimentales con techo estanque, emplazados en clima cálido seco, a los que les fueron aplicadas cinco técnicas de enfriamiento pasivo. El experimento se llevó a cabo en Chihuahua, México (Lat.: 28N, Long.: 106W, altura: 1.425m) durante el verano de 2012. Los resultados indican que el techo estanque es una excelente alternativa para incrementar el porcentaje de horas de confort, pues se alcanza hasta un 30% más horas en promedio, respecto de un módulo control sin techo estanque. Si se añade enfriamiento radiativo nocturno, el porcentaje aumenta a 40%, e incorporando masa térmica, se incrementa hasta en un 65%. Incluso, en algunos casos, el enfriamiento es tan intenso que se sobrepasa el rango inferior de confort en horas de las mañanas.

## ABSTRACT

### *Key Words*

Thermal comfort  
Arid climate  
Roof pond  
Passive cooling techniques

This document presents a comparative study of the percentage of time that the operating temperature is located within the limits of the comfort zone proposed by ASHRAE Standard 55-2010 for naturally ventilated buildings. The temperatures studied were recorded inside of experimental roof pond modules, located in a warm, dry climate. Five passive cooling techniques were applied to the modules. The experiment was carried out in Chihuahua, Mexico (Lat.: 28N, Long.: 106W, altitude: 1,425m) during the summer of 2012. The results indicate that roof ponds are an excellent alternative to increase the percentage of hours of comfort, because they provide up to 30% more hours on average with respect to a control module without a roof pond. If radiative cooling is added at night, the percentage increases to 40%, and incorporating thermal mass it increases up to 65%. Even, in some cases, the cooling is so intense that it exceeds the lower range of comfort in morning hours.

## 1. Introducción

La ciudad de Chihuahua se localiza al noroeste de México y sus coordenadas geográficas son: 28° 38' latitud norte, 106° 06' longitud oeste; y se ubica a 1.425 metros sobre el nivel medio del mar (Figura 1).

El clima se considera cálido seco extremoso

con una temperatura promedio anual máxima de 26.94°C, promedio de 18.9°C y mínima de 10.87°C, con una oscilación térmica de 16.08°C. La humedad relativa promedio es de 52.4%, con mínimas promedio de 14.4%. La precipitación pluvial es de 385.1mm, con vientos dominantes provenientes del noreste con una velocidad promedio de 3.33m/s. La temporada de verano se

caracteriza por un clima cálido seco con una duración promedio de cinco meses (mayo a septiembre). La temperatura máxima promedio es de 32°C, la promedio es de 24.7 °C y la mínima, de 17.5°C. La humedad relativa promedio es de 52.80%, y la mínima es de 16.30%. La precipitación pluvial es de 313.1mm. Este clima presenta periodos recurrentes de sequía debido a su escasa precipitación. De acuerdo con información de la Comisión Nacional del Agua (CNA), Chihuahua tuvo periodos de sequía entre 1993 y 2003, y entre 2005 y 2012.



Figura 1: República mexicana. Fuente: Herrera, 2004.

Figure 1: Mexican Republic. Source: Herrera, 2004.

El clima cálido seco del verano obliga a que los habitantes de Chihuahua recurran al uso de equipos de enfriamiento, por lo regular de tipo evaporativo directo. Su uso generalizado origina un aumento en el consumo de energía eléctrica convencional, así como de agua. Esto impacta a las familias económicamente y a las reservas acuíferas de la región, que de por sí son escasas.

En trabajos previos de investigación se demostró que el uso de estrategias bioclimáticas (Herrera, 2009) y de techos estanque (Herrera y Gómez-Azpeitia, 2013) aplicados en la arquitectura, disminuyen el consumo de agua y energía, y alcanzan temperaturas iguales o menores a las logradas con el uso de equipos de enfriamiento evaporativo directo.

El objetivo de este trabajo es estudiar comparativamente los porcentajes de tiempo en que la temperatura interior se mantiene dentro de la zona de confort -de acuerdo a la norma ASHRAE 55-2010 (ANSI/ASHRAE, 2010: 11-12), en un clima cálido- en cinco módulos experimentales con cubierta estanque, así como en un módulo control sin techo estanque. A cada módulo experimental se le aplica una técnica de enfriamiento pasivo:

- Módulo experimental 1: Aislamiento térmico con cámara de aire más enfriamiento radiativo nocturno. (ME1: AT+CA+ERN).
- Módulo experimental 2: Protección solar con masa térmica. (ME2: PS+MT).
- Módulo experimental 3: Aislamiento térmico con masa térmica más enfriamiento radiativo nocturno. (ME3: AT+MT+ERN).
- Módulo experimental 4: Enfriamiento evaporativo indirecto con aislamiento térmico más masa térmica. (ME4: EEI+AT+MT).
- Módulo experimental 5: Enfriamiento evaporativo indirecto con aislamiento térmico, masa térmica y enfriamiento radiativo nocturno. (ME5: EEI+AT+MT+ERN)

## 2. Método

Con el fin de evaluar el techo estanque (TE) se realizó una investigación de tipo experimental descriptiva, de acuerdo a la metodología propuesta por E. González (1989) y S. González (2010) para climas cálidos húmedos, la cual consiste en registrar en campo módulos experimentales de iguales dimensiones, materiales y acabados. Los módulos utilizados en esta investigación conservaron las características propuestas por esas investigaciones (Herrera y Gómez-Azpeitia, 2013).

En este trabajo se emplearon tres módulos de características constructivas idénticas para que la carga térmica fuera igual en cada una de ellas, y así comparar su funcionamiento. Las medidas utilizadas fueron de 0.80m de largo por 0.80m de ancho y 0.47m de alto. Los módulos se fabricaron con madera contrachapada de 0.015m de espesor, pintada en su exterior con pintura epóxica de color blanco. Fueron forrados internamente con placas de poliestireno expandido de 0.05m de espesor. Se dispusieron unos listones de madera de 0.04m x 0.05m en su base, con la finalidad de separarlos del suelo y evitar el contacto directo con toda la superficie.

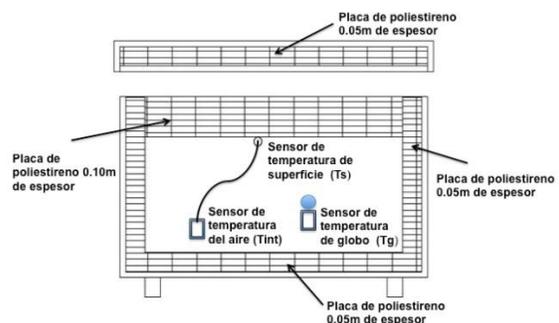
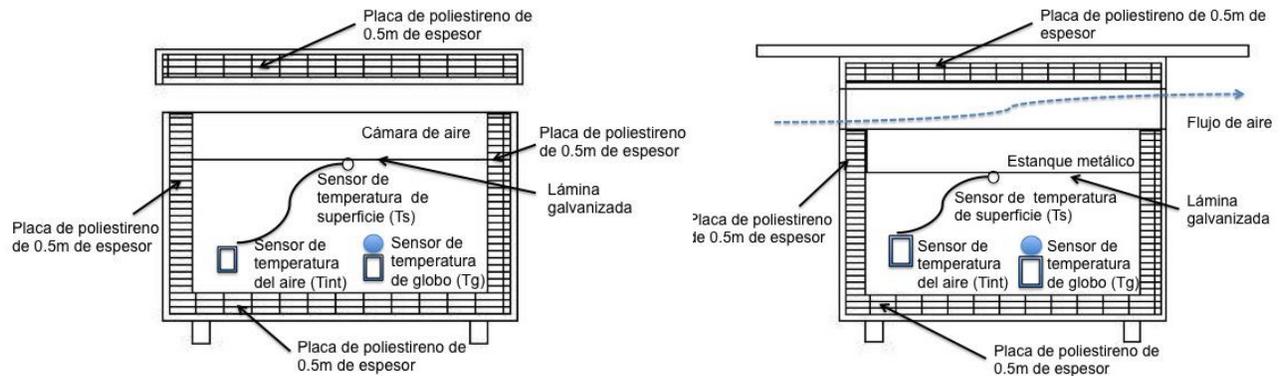


Figura 2: Módulo de control (MC).

Figure 2: Control module (MC).



**Figura 3:** Módulos experimentales (ME).  
**Figure 3:** Experimental modules (ME).

En la parte superior del módulo que funcionó como control (MC), fue dispuesto un aislamiento térmico adicional de 0.10m de espesor, para reducir al máximo la ganancia de calor a través de la cubierta. Ésta estuvo sellada y traslapada 0.01m para evitar infiltraciones y el intercambio de calor exterior e interior (Figura 2).

A los otros dos módulos se les denominó módulos experimentales (ME) y se les proveyó de un estanque metálico de lámina de acero galvanizado en su parte superior, el cual se modificó según lo requería cada experimento. La cubierta de uno de los módulos experimentales estuvo sellada y traslapada de la misma manera que en el MC, mientras que la otra cubierta fue levantada 0.12m para permitir el flujo de aire entre el estanque metálico y dicha cubierta (Figura 3).

Durante todo el tiempo de trabajo se registró la temperatura del aire con un sensor exterior. Al interior se ubicó un sensor de temperatura para registrar la temperatura del aire (Tint) y un sensor de globo negro para el registro de temperatura de

globo (Tg) (Tabla 1).

A continuación se describen las técnicas de enfriamiento pasivo que fueron incorporadas a cada cubierta estanque de los módulos experimentales (ME):

### 2.1 Aislamiento térmico

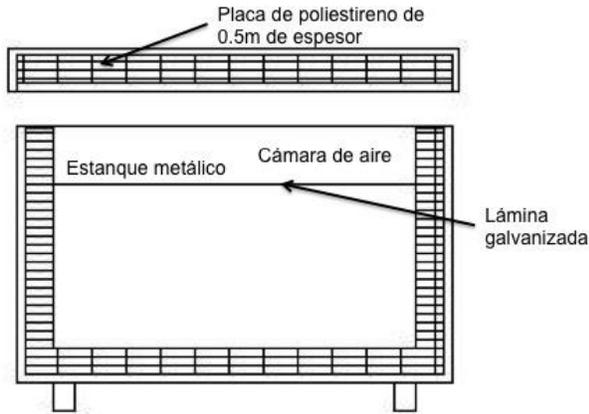
Se conservó la placa de poliestireno de alta densidad de 0.05m de espesor, como aislante térmico (AT) entre el tanque metálico y la cubierta del módulo experimental. Entre el aislamiento y la placa metálica permanece una cámara de aire confinada (Figura 4). Esta técnica se incluyó en los experimentos de los módulos ME1, ME3, ME4 y ME5.

### 2.2 Cámara de aire

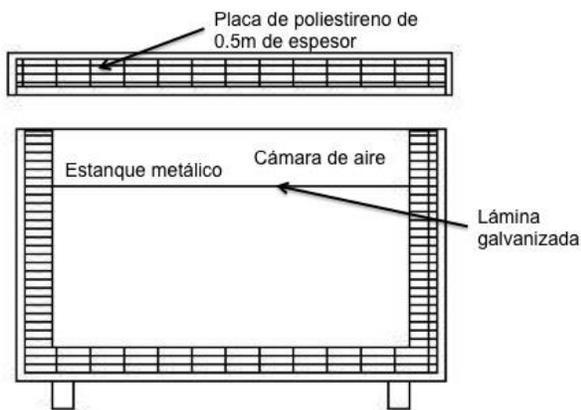
Entre la placa de aislante de la cubierta se dejó contenida sin ventilación una cámara de aire de 0.05m de espesor (CA) (Figura 5). Esta técnica se incluyó en el experimento del módulo ME1.

**Tabla 1:** Rango de medición y precisión del equipo de monitoreo empleado en los experimentos.  
**Table 1:** Range of measurement and accuracy of the monitoring equipment used in the experiments.

PARÁMETRO	REQUISITOS DE LA ISO 7726:1998 CLASE I		EQUIPO EMPLEADO EN LOS EXPERIMENTOS		
	Rango	Precisión	Rango	Precisión	Modelo
Temperatura del aire exterior ( $T_{ext}$ ) e interior ( $T_{int}$ )	10° a 40°C	Requerido: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ Deseable: $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$	-20 a 70°C	$\pm 0.35^{\circ}\text{C}$ de 0° a 50°C	U12-013
Temperatura de globo negro ( $T_g$ )	10° a 40°C	Requerido: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ Deseable: $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$	-20 a 70°C	$\pm 0.35^{\circ}\text{C}$ de 0° a 50°C	H08-004
Temperatura de la superficie inferior de la lámina ( $T_s$ ), temperatura del agua de la masa térmica ( $T_{WMT}$ ), temperatura del agua de enfriamiento evaporativo indirecto ( $T_{WEI}$ ).	0° a 50°C	Requerido: $\pm 1^{\circ}\text{C}$ Deseable: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	-30 a 50°C	$\pm 0.7^{\circ}\text{C}$ a 21°C	H08-032-08



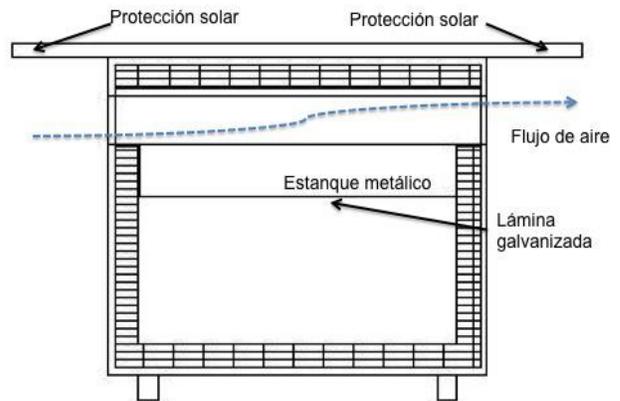
**Figura 4:** Técnica de aislamiento térmico (ME).  
**Figure 4:** Thermal insulation technique (ME).



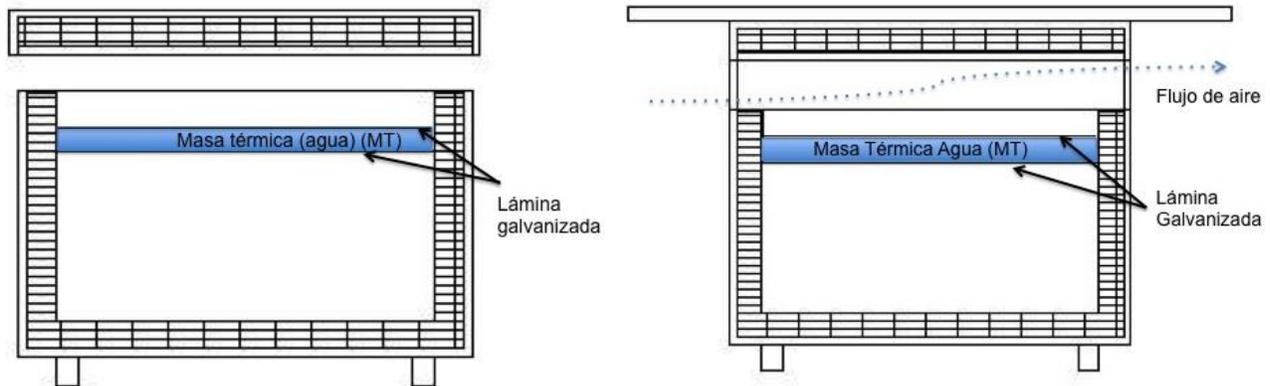
**Figura 5:** Técnica de cámara de aire.  
**Figure 5:** Plenum airspace technique.

### 2.3 Protección solar

Consistió en la aplicación de aleros para protección solar (PS) de alta eficiencia a fin de disminuir al máximo posible la incidencia directa de los rayos solares sobre el estanco. Los cuatro costados del módulo se dejaron abiertos para permitir la libre circulación del aire sobre la cubierta del estanco metálico (Figura 6). Esta técnica se incluyó en el experimento del módulo ME2.



**Figura 6:** Técnica de protección solar.  
**Figure 6:** Shading device technique.



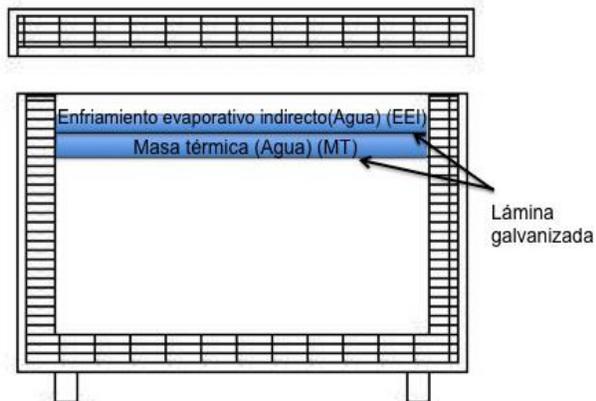
**Figura 7:** Técnica de masa térmica.  
**Figure 7:** Thermal mass technique.

## 2.4 Masa térmica

Un recipiente de lámina de acero galvanizado con 30 litros de agua (0.701m de altura) actuó como masa térmica (MT). El agua estuvo confinada en el recipiente con una tapa de lámina de acero galvanizado sellada con acrílico, con el fin de evitar el contacto de la superficie del agua con el flujo de la ventilación natural (Figura 7). Esta técnica se incluyó en los experimentos de los módulos ME2, ME3, ME4 y ME5.

## 2.5 Enfriamiento evaporativo indirecto

Al espacio de la cámara de aire contenida entre la masa térmica y la placa aislante se le agregó una película de agua de 0.020m de altura para propiciar el enfriamiento por evaporación (EEI) (Figura 8). Esta técnica se incluyó en el experimento del módulo ME5.



**Figura 8:** Técnica de enfriamiento evaporativo indirecto.  
**Figure 8:** Indirect evaporative cooling technique.

## 2.6 Enfriamiento radiativo nocturno

Durante la noche se retiró la cubierta del módulo experimental a fin de propiciar el intercambio radiativo con la bóveda celeste (ERN). Esta técnica se incluyó en los experimentos de los módulos ME1, ME3 y ME5 (Figura 9).

La temporada de registro de campo se realizó durante el verano de 2012, en los meses de junio, agosto y septiembre. Cada variación de la cubierta estanque se monitoreó durante 96 horas consecutivas (4 días), con registros de datos cada 15 minutos.

Como el espacio interior de los módulos estuvo confinado y cerrado a cualquier flujo de ventilación, la temperatura media radiante ( $T_{mr}$ ) se consideró igual a la temperatura de globo negro registrada ( $T_g$ ); la temperatura operativa ( $T_{op}$ ) se obtuvo a su vez de la fórmula simplificada propuesta por la norma ASHRAE 55-2010:

$$T_{op} = \frac{T_{int} + T_{mr}}{2} \quad (2)$$

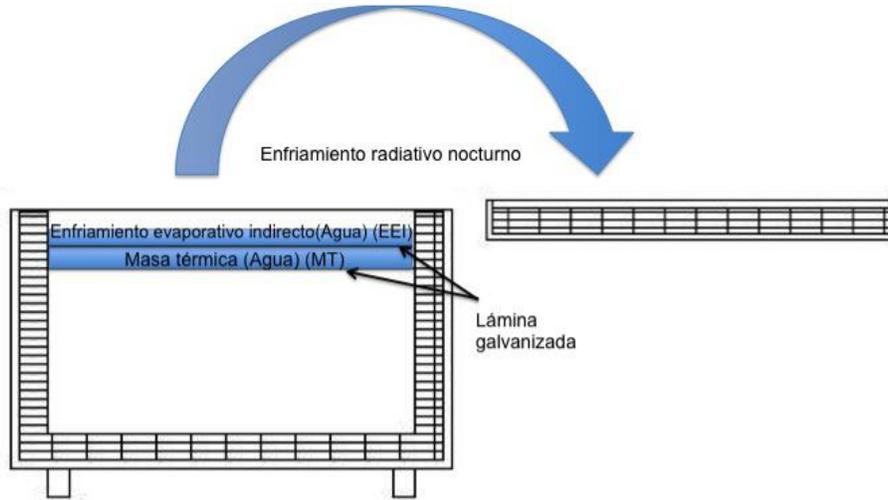
Donde,

$T_{int}$  = Temperatura del aire en °C

$T_{mr}$  = Temperatura Media Radiante ( $T_g$ ) en °C

Para calcular la temperatura neutral o preferida en espacios con ventanas operables y ajustables, que no tenga equipos mecánicos de enfriamiento, la norma ASHRAE 55-2010 establece la ecuación siguiente:

$$T_n = 17.8 + 0.31(T_o) \quad (1)$$



**Figura 9:** Técnica de enfriamiento radiativo.  
**Figure 9:** Radiative cooling technique.

**Tabla 2:** Determinación de la zona de confort.  
**Table 2:** Determination of the comfort zone.

MES	TEXT °C	TN°C	RANGO +2.5 °C	RANGO -2.5 °C	RANGO +3.5 °C	RANGO -3.5 °C
Junio	26.30	25.93	28.43	23.43	29.43	22.43
Agosto	24.90	25.52	28.02	23.02	29.02	22.02
Septiembre	23.20	24.99	27.49	22.49	28.49	21.49

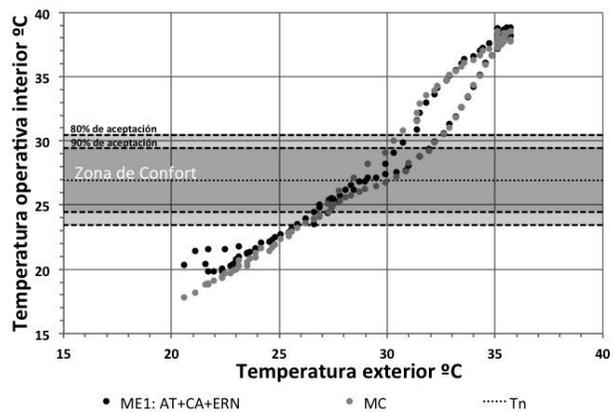
Los rangos de confort de temperatura operativa para un 80% de aceptabilidad tienen una amplitud de  $\pm 2.5$  °C. Para el 90% de aceptabilidad la amplitud es de  $\pm 3.5$  °C. En este trabajo se tomó como temperatura exterior el promedio mensual publicado por la comisión del Agua del Estado de Chihuahua (CNA, 2008) (Tabla 2).

Es oportuno aclarar que la utilización de la fórmula que propone la norma ASHRAE 55 está orientada a espacios que no posean equipos de climatización artificial o mecánicos y ventilados naturalmente, por lo que puede no estar ajustada a la realidad en cuanto a la confortabilidad de los sujetos de la localidad estudiada. En espacios naturalmente ventilados los individuos suelen expresar un rango de temperaturas de confort mucho más amplio de lo que establece la norma (incluso sobrepasando los 6 °C de amplitud).

### 3. Resultados

Al interior del módulo ME1: AT+CA+ERN (aislamiento térmico, cámara de aire y enfriamiento radiativo nocturno) la temperatura operativa estuvo 30.21% del tiempo dentro de la zona de confort térmico, del cual el 23.96%

estuvo dentro de los límites del 80% de aceptación. Por su parte, el módulo de control estuvo 28.13% del tiempo dentro de la zona de confort, del cual el 20.83% se ubicó dentro de los límites del 80% de aceptación (Figura 10).



**Figura 10:** Porcentaje de tiempo de confort térmico al interior de los módulos. ME1: AT+CA+ERN y MC.

**Figure 10:** Percentage of thermal comfort zone time inside modules. ME1: AT+CA+ERN and MC.

La temperatura operativa en disconfort por calor, al interior del módulo ME1: AT+CA+ERN, estuvo el 41.67% del tiempo dentro de los límites

del 80% de aceptación y el 43.75% dentro de los límites del 90% de aceptación. Mientras que el disconfort por frío estuvo el 28.13% del tiempo dentro de los límites del 80% de aceptación y 32.29%, dentro de los límites del 90% de aceptación.

Al interior del módulo ME2: PS+MT (protección solar y masa térmica) la temperatura operativa se ubicó un 53.13% del tiempo dentro de la zona de confort térmico, de los cuales 42.71% estuvo dentro de los límites del 80% de aceptación. Por su parte, el módulo MC (control) estuvo 31.25% del tiempo dentro de la zona de confort, de los cuales 22.92%, dentro de los límites del 80% de aceptación (Figura 11).

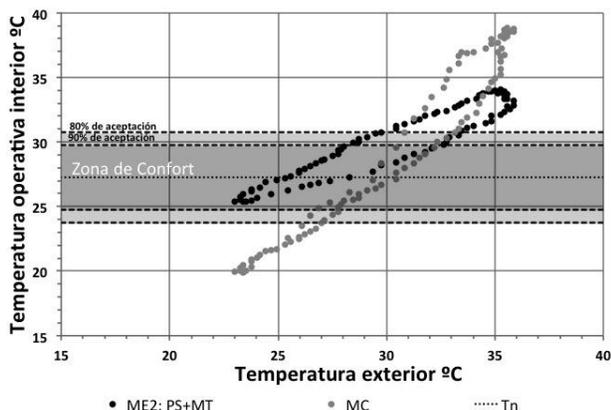


Figura 11: Porcentaje de tiempo de confort térmico al interior de los módulos. ME2: PS+MT y MC.

Figure 11: Percentage of thermal comfort zone time inside the modules. ME2: PS+MT y MC

La temperatura operativa en disconfort por calor, al interior del módulo ME2: PS+MT, se mantuvo un 46.88% del tiempo dentro de los límites del 80% de aceptación y el 57.29%, dentro de los límites del 90% de aceptación. En este módulo no se presentó disconfort por frío.

Al interior del módulo ME3: AT-MT-ERN la temperatura operativa estuvo 90.63% del tiempo dentro de la zona de confort térmico, de los cuales 73.96% se halló dentro de los límites del 80% de aceptación. Por su parte, el módulo de control se ubicó un 32.29% del tiempo dentro de la zona de confort, de los cuales un 19.79% lo hizo dentro de los límites del 80% de aceptación (Figura 12).

Al interior del módulo ME3: AT-MT-ERN, la temperatura operativa en disconfort por frío estuvo el 9.38% del tiempo dentro de los límites del 80% de aceptación y el 26.04%, dentro de los límites del 90% de aceptación. En este módulo no se presentó disconfort por calor.

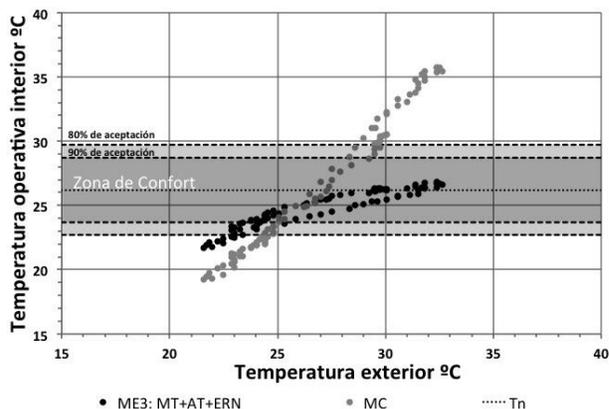


Figura 12: Porcentaje de tiempo de confort térmico al interior de los módulos ME3: AT-MT-ERN y MC.

Figure 12: Percentage of thermal comfort zone time inside the modules. ME3: AT-MT-ERN y MC.

Al interior del módulo ME4: EEI-AT-MT (enfriamiento evaporativo indirecto, aislamiento térmico y masa térmica), la temperatura operativa se mantuvo un 38.54% del tiempo dentro de la zona de confort térmico, de los cuales 11.46% estuvo dentro de los límites del 80% de aceptación. Por su parte, el módulo de control se halló un 23.96% del tiempo dentro de la zona de confort, de los cuales 15.63% lo hizo dentro de los límites del 80% de aceptación (Figura 13).

La temperatura operativa en disconfort por frío, al interior del módulo ME4: EEI-AT-MT, estuvo el 61.46% del tiempo dentro de los límites del 80% de aceptación y el 88.54%, dentro de los límites del 90% de aceptación. En este módulo no presentó disconfort por calor.

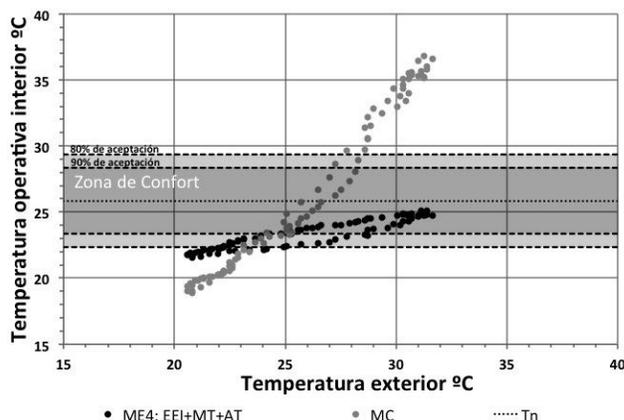


Figura 13: Porcentaje de tiempo de confort térmico al interior de los módulos ME4: EEI-AT-MT y MC.

Figure 13: Percentage of thermal comfort zone time inside the modules. ME4: EEI-AT-MT y MC.

Al interior del módulo ME5: AT-MT-ERN (aislamiento térmico, masa térmica y enfriamiento

radiativo nocturno), la temperatura operativa estuvo 0% del tiempo dentro de la zona de confort térmico. Por su parte, el módulo de control se ubicó un 20.83% del tiempo dentro de la zona de confort, de los cuales el 13.54% lo hizo dentro de los límites del 80% de aceptación (Figura 14).

La temperatura operativa en disconfort por frío, al interior del módulo ME5: AT-MT-ERN, se mantuvo el 100% del tiempo dentro de los límites del 80% de aceptación y el 100% dentro de los límites del 90% de aceptación. Este módulo no presentó disconfort por calor.

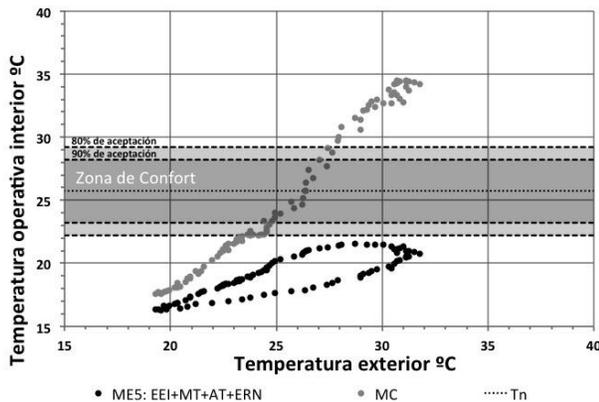


Figura 14: Porcentaje de tiempo de confort térmico al interior de los módulos. ME5: AT-MT-ERN y MC.

Figure 14: Percentage of thermal comfort zone time inside the modules. ME5: AT-MT-ERN y MC.

#### 4. Discusión

La aplicación de las técnicas de enfriamiento pasivo en los módulos ME1 y ME5 arrojó los resultados más pobres en cuanto a tiempo de coincidencia de la temperatura operativa interior con la zona de confort. En comparación con los resultados del módulo control, estos módulos no ofrecen una mejora significativa y, en el caso particular del módulo M5, incluso el módulo control resultó con mejores números. En lo que se refiere al módulo M1, el tiempo dentro del límite de aceptación del 80% fue apenas 3% mayor que el registrado en el módulo control. Sus respectivos desempeños desarrollan un patrón muy similar entre sí. Distinto es lo que ocurre en el módulo M5, donde las técnicas de enfriamiento fueron tan eficientes que originaron que el 100% del tiempo las condiciones dentro del módulo estuvieran por abajo del límite inferior de la zona de confort.

En contraste con esos primeros datos, las técnicas de enfriamiento pasivo incorporadas a los módulos ME2 y ME3 dieron los mejores

resultados del proyecto. Las temperaturas operativas al interior de esos módulos alcanzaron el mayor porcentaje de tiempo dentro de la zona de confort, entre el 42.71% y el 73.96% dentro del margen con aceptación del 90%.

Con un desempeño intermedio les sigue el módulo ME4, en cuyo interior las temperaturas operativas estuvieron el 38.54% del tiempo dentro de la zona de confort, dentro de los límites del 80% de aceptación y de 11.46% del tiempo dentro de los límites del 90% de aceptación (Tabla 2).

Tabla 2: Porcentaje de tiempo dentro de la zona de confort.  
Table 2: Percentage of time within the comfort zone.

MC	28.3	31.25	32.29	23.96	20.83
ME1	30.21				
ME2		53.13			
ME3			73.96		
ME4				38.54	
ME5					0

Los resultados demuestran que el uso de aislamiento térmico, masa térmica, protección solar y cámara de aire no resultan eficientes para incrementar el tiempo en condiciones de confort por sí solos. Es necesario combinarlos con otras técnicas de enfriamiento pasivo.

Indican también que el enfriamiento evaporativo indirecto y el enfriamiento radiativo nocturno son técnicas de enfriamiento pasivo muy eficientes para los climas cálido-secos, dependiendo de la amplitud de la zona de confort determinada en la localidad, sin embargo, deben ser manejadas con cuidado para no propiciar condiciones fuera de confort por exceso de enfriamiento.

#### 5. Conclusiones

La cubierta estanque adicionada con las técnicas de enfriamiento pasivo evaluadas en los módulos ME2 (PS+MT) y ME4 (EEI+MT+AT) constituyen una buena opción para propiciar que las temperaturas al interior de los espacios habitables alcancen altos porcentajes de tiempo dentro de la zona de confort, en un clima cálido seco.

Al adicionarle a la cubierta estanque la técnica de masa térmica (ME3 y ME4), una de técnica de enfriamiento pasivo, se alcanzan los porcentajes más altos de tiempo dentro de la zona de confort.

En verano, el objetivo de la climatización es disminuir la sensación de calor al interior de los espacios habitables, por lo que las condiciones fuera de la zona de confort por exceso de enfriamiento registradas en el módulo ME5 podrían resolverse aumentando el nivel de arropamiento de las personas y en algunos de casos con aumento en la tasa metabólica, lo cual no implica aumento en la demanda de energía y agua.

Este trabajo demuestra que en el clima cálido seco de Chihuahua se puede estar hasta el 90% de tiempo dentro de la zona de confort con el uso de cubiertas estanque con aislamiento térmico, masa térmica y enfriamiento radiativo nocturno.

Los resultados y conclusiones aquí expuestos, se han circunscrito a lo establecido en la norma ASHRAE 55-2010, por lo que es importante relacionarlos con resultados provenientes de un estudio de campo de confort térmico, para determinar con mayor certeza la zona de confort y los rangos respectivos para la ciudad de Chihuahua.

### Referencias bibliográficas

ANSI/ASHRAE Standard 55-2010. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating Refrigeration and Air-conditioning Engineers, pp. 11-12.

González, E. (1989). Evaluación de sistemas pasivos de enfriamiento y su aplicación en el diseño de viviendas. Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela: CONDES.

González, S. (2010). Estudio experimental del comportamiento térmico de sistemas pasivos de enfriamiento en clima cálido-húmedo. Tesis de Maestría publicada. España: Universidad Internacional de Andalucía.

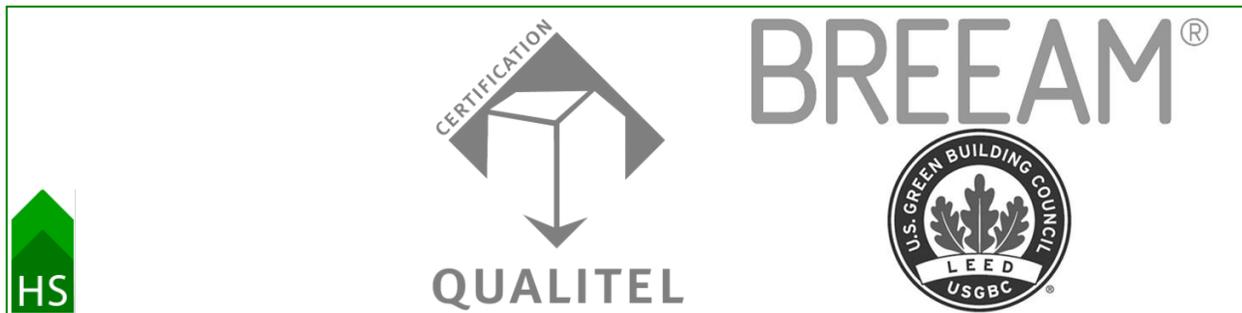
Herrera, L. (2009). Evaluación de estrategias bioclimáticas aplicadas en edificios y su impacto en la reducción del consumo de agua en equipos de enfriamiento evaporativo directo. Tesis de Doctorado publicada. México: Universidad de Colima, Facultad de Arquitectura.

Herrera, L. y Gómez-Azpeitia G. (2013). Techos estanque como estrategia para el ahorro de agua en climas áridos. Caso: Chihuahua, México. Revista Palapa. No. 2. Pág. 41-58.

Recibido: 04|05|2014  
Aceptado: 16|05|2014

## Métodos de evaluación sostenible de la vivienda: Análisis comparativo de cinco métodos internacionales

Methods for sustainable assessment of housing: A comparative analysis of five international methods



Felipe Quesada Molina [felqueza@ubiobio.cl](mailto:felqueza@ubiobio.cl)

Doctorado en Arquitectura y Urbanismo – Universidad del Bío-Bío –  
Concepción, Chile



## RESUMEN

*Palabras Clave*  
Método  
Evaluación  
Edificación  
Residencial

El presente trabajo realiza una comparación entre los métodos de evaluación de la edificación residencial, de mayor influencia a nivel internacional (BREEAM, LEED, VERDE, CASBEE y Qualitel), para establecer bases que sirvan en futuros desarrollos. El artículo se estructura en tres partes: La primera, revisa el surgimiento y objetivos de los métodos; la segunda, presenta la metodología utilizada en el estudio; y una tercera, analiza y compara estos métodos. Se concluye estableciendo las dimensiones y categorías que abordan, además de la estructura metodológica, el sistema de calificación y los límites que poseen los métodos.

## ABSTRACT

*Key Words*  
Method  
Evaluation  
Building  
Residential

This paper compares the most internationally important methods of residential building assessment (BREEAM, LEED, VERDE, CASBEE and Qualitel) in order to establish bases for future development. This article is divided into three parts: the first, reviews the emergence and objectives of the methods; the second, presents the methodology used in the study; and the third, analyzes and compares these methods. To conclude, the dimensions and categories the methods address are established, as well as the methodological structure, rating system, and limits of the methods.

---

### 1. Introducción

Desde el siglo pasado, problemas causados por actividades de la industrialización y urbanización de las ciudades, han generado interés por mitigar sus impactos negativos. Desde la década de los 70, en Europa y Norteamérica, los métodos de evaluación ambiental (IEAMs) han cobrado gran importancia (Toth & Hizsnyik, 1998). Pero es 1997, con la firma del protocolo de Kyoto, cuando muchos países se unen a la idea de la evaluación del desempeño ambiental (Schultmann, Sunke, & Krüger, 2009). Paralelamente, el mejoramiento de las condiciones de vida de los ciudadanos y el establecimiento de mayores exigencias en normativas para la edificación, han provocado un incremento en la demanda de energía y consumo de recursos, contribuyendo al aumento de los impactos negativos. En las 2 últimas décadas, la

medición del desempeño y la evaluación ambiental de los edificios han generado una intensa investigación. Sin embargo, todavía esta área es en gran medida desconocida (Cole, 1998).

### 2. Los métodos de evaluación

La evaluación surgió como respuesta a las necesidades de los diseñadores y ocupantes de edificios (Cooper, 1999). Evaluar implica la medición de lo bien o mal que un edificio se desempeña o puede llegar a desempeñarse, en relación a un conjunto de criterios declarados (Cole, 2005). Los métodos de evaluación sirven como instrumentos que proporcionan indicadores cuantitativos del desempeño y como herramientas de calificación para determinar el nivel de rendimiento de un edificio. En la actualidad, reflejan la importancia del concepto de

sostenibilidad (Ding, 2008), mediante la medición de las mejoras del desempeño ambiental (Cole, 1999).

Los métodos de evaluación han ido marcando los fundamentos y el camino futuro de la sostenibilidad para la edificación (Luetzkendorf et al., 2011), con algunas similitudes y, al mismo tiempo, grandes diferencias entre ellos (Ali-Toudert, 2007). Dichas diferencias están influenciadas por situaciones regionales atribuidas a las condiciones climáticas, niveles de renta, métodos constructivos, etc. (Kohler, 1999). Para afrontar las diferencias, distintos grupos internacionales, tales como iiSBE (iiSBE, 2009), LENSE (Commission, 2013) e instituciones como la Organización Internacional de Normalización (ISO) y el Comité Europeo de Normalización (CEN), tratan de establecer enfoques comunes para la edificación sostenible. Estos trabajos, sin embargo, no han estado ajenos a las críticas, por los posibles inconvenientes que pudieran surgir a partir de las generalizaciones (Shaviv, 2011).

En lo que respecta a la edificación residencial, algunos informes asociados a la vivienda (Evans, Wells, & Moch, 2003) han detallado los peligros para la salud de los ocupantes, los que junto a las nuevas regulaciones en el campo de la habitabilidad, han generado el surgimiento de métodos de evaluación específicos para la vivienda (Kim, Yang, Yeo, & Kim, 2005). La vivienda cubre la necesidad de las personas, por habitar un lugar con privacidad, y adicionalmente, su satisfacción está directamente relacionada con la dimensión social de la sostenibilidad, por lo tanto, invertir en vivienda tiene efectos multiplicadores (Watermeyer & Milford, 2003). En este sentido, el reto del desarrollo sostenible es satisfacer tales necesidades, cumpliendo con los objetivos ambientales (Immendoerfer, Luetzkendorf, & Rietz, 2011).

### 3. Objetivos del estudio

El objetivo del presente estudio es realizar una revisión crítica de la edificación residencial a través del análisis y comparación de los métodos de evaluación de su sostenibilidad, con el fin de determinar las confluencias y divergencias entre ellos, que sirvan como base para el desarrollo de nuevos métodos.

#### 3.1. Metodología aplicada en el estudio

Entre los estudios previos que han intentado analizar y comparar algunos métodos de

evaluación, destacan: (Cole, 1999), (Reijnders & van Roekel, 1999), (Fowler, Rauch, Laboratory, & Energy, 2006), (Ding, 2008), (Haapio & Viitaniemi, 2008), (Wallhagen, Glaumann, Eriksson, & Westerberg, 2013), (Berardi, 2011) y (Lee, 2013). Para aportar al conocimiento y cumplir con el objetivo de la investigación, se optó, en primer lugar, por analizar las características generales, metodologías utilizadas y sistemas de calificación de los métodos de evaluación. En segundo lugar, se analizó críticamente los métodos de evaluación, a través de su comparación, el empleo de las normativas internacionales (ISO, CEN) y la estructura de una metodología reconocida académicamente como el “Marco de Evaluación para Enfoques Conceptuales y Analíticos en Gestión Ambiental” (Baumann & Cowell, 1999). Dicho marco, que ha sido aplicado anteriormente (Jönsson, 2000), (Forsberg & von Malmborg, 2004), (Darus & Hashim, 2012), ha sido aquí adaptado con el fin de obtener resultados precisos.

#### 3.2. Selección de los casos de estudio

Para delimitar el campo de estudio, se utilizaron 2 tipos de clasificaciones: La clasificación de instrumentos de evaluación (Reijnders & van Roekel, 1999), en la cual se optó por métodos que pertenecieran a su primera categoría, y la metodología de clasificación desarrollada por el Instituto ATHENA (Trusty, 2000), en la cual se optó por métodos que pertenecieran al nivel 3 de su clasificación.

**Tabla 1:** Programas y métodos seleccionados.  
**Table 1:** Programs and selected methods.

PROGRAMAS	MÉTODOS DE EVALUACIÓN
BRE: Building Research Establishment.	BREEAM Multi-Residential
USGBC: U.S. Green Building Council.	LEED-Home
GBCe: Green Building Council España.	VERDE Nueva Edificación: Residencial y Oficinas
JaGBC – JSBC: Japan Green Build Council – Japan Sustainable Building Consortium.	CASBEE for New Construction
Association QUALITEL.	Qualitel y Habitat&Environnement.

Establecido el tipo de método a ser estudiado, se seleccionaron los más representativos, por poseer técnicas y

herramientas avanzadas de evaluación, que han servido de base para el desarrollo de nuevos métodos, como ya lo han mencionado diversas publicaciones científicas (Lee, 2013), (Alyami & Rezgui), (Ali & Al Nsairat, 2009), (Reed, Bilos, Wilkinson, & Schulte, 2009), y por pertenecer a programas internacionales. Los programas y métodos seleccionados se exponen en la Tabla 1.

### 3.3 Limitaciones del estudio

El estudio se limita a 5 métodos de evaluación de la edificación residencial (en lo sucesivo: LEED-H, BREEAM-MR, VERDE-RO, CASBEE-NC y QH&E), en su última versión para el año 2013. Se basa, asimismo, en el análisis de material escrito y disponible libremente al público. Se accedió a la información a través de fuentes primarias, disponibles en sus páginas web (septiembre de 2012 a marzo de 2013), en algunos casos la información tuvo que ser complementada, con fuentes secundarias. El uso de diferentes referencias pudo haber influido en la obtención de resultados o dado lugar a interpretaciones erróneas.

## 4. Casos de Estudio

### 4.1. LEED-Homes

Para calificar viviendas unifamiliares, la certificación LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) lanzó "LEED-Homes", sistema solo disponible para EE.UU. (Council, 2013). Su metodología corresponde a una lista de verificación (checklist) de requisitos. El rendimiento general de la vivienda se mide a través de 8 categorías (Tabla 2) y sus resultados se indican en 4 niveles, según la puntuación obtenida. El sistema cuenta con 35 áreas temáticas. Para garantizar niveles mínimos de desempeño se exige el cumplimiento de 18 prerrequisitos en 6 categorías y, como medidas opcionales, 67 créditos, que entregan un total de 136 puntos. En cada categorías se identifican medidas específicas que deben incluirse en las viviendas y en 4 de ellas se exige el cumplimiento de una puntuación mínima (Tabla 2).

### 4.2 BREEAM Multi-residencial

El esquema BREEAM (BRE Evironmental Assessment Method) es un sistema de evaluación del desempeño ambiental de los edificios, desarrollado por la organización inglesa BRE Global Ltd. Para la evaluación de la vivienda se aplica el esquema BREEAM Multi-Residencial

(Global, 2009) el cual puede realizarse en las fases de diseño, ejecución y mantenimiento, a través de un número determinado de impactos, agrupados en 10 categorías (Tabla 3). Las puntuaciones obtenidas en cada categoría son ponderadas para obtener la puntuación final, en base a su importancia relativa. Esta puntuación (benchmarks) se traduce a una escala de cinco rangos de cumplimiento, representado por un sistema de estrellas que refleja la calificación final. El sistema posee 37 criterios de evaluación con distintos requisitos y estándares mínimos de desempeño en áreas claves.

**Tabla 2:** Categorías y posible puntuación.  
**Table 2:** Categories and possible score.

CATEGORÍAS DE CRÉDITOS	PUNTOS MÍNIMOS REQUERIDOS	MÁXIMO PUNTOS DISPONIBLES
Innovación y diseño (ID)	0	11
Localización y enlaces (LL)	0	10
Sitios sustentables (SS)	5	22
Eficiencia en el agua (WE)	3	15
Energía y atmósfera(EA)	0	38
Material y recursos (MR)	2	16
Calidad de ambiente interior (EQ)	6	21
Conocimiento y educación (AE)	0	3
<b>Total</b>	<b>16</b>	<b>136</b>

**Tabla 3:** Categorías y ponderación.  
**Table 3:** Categories and weightings.

ÁREAS AMBIENTALES	PONDERACIÓN
1 Gestión	12%
2 Salud y bienestar	15%
3 Energía	19%
4 Transporte	8%
5 Agua	6%
6 Materiales	12.5%
7 Residuos	7.5%
8 Uso de suelo y ecología	10%
9 Contaminación	10%
<b>Total</b>	<b>100%</b>
10 Innovación (adicional)	10%

**Tabla 4:** Categorías de impacto.  
**Table 4:** Impact categories.

	CATEGORÍA DE IMPACTO	INDICADOR	PESO
1	Cambio climático	Kg de CO <sub>2</sub> eq	27%
2	Aumento de las radiaciones UV	Kg de CFC11 eq	0%
3	Pérdida de fertilidad	Kg de SO <sub>2</sub> eq	5%
4	Pérdida de vida acuática	Kg de PO <sub>4</sub> eq	6%
5	Producción de cáncer y otros problemas de salud	Kg de C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	8%
6	Cambios en la biodiversidad	%	4%
7	Agotamiento de energía no renovable, energía primaria	MJ	8%
8	Agotamiento de recursos no renovable diferente a la energía primaria	Kg de Sb eq	9%
9	Agotamiento de agua potable	m <sup>3</sup>	10%
11	Generación de residuos no peligrosos	m <sup>3</sup>	6%
16	Salud, bienestar y productividad para los usuarios	%	12%
19	Riesgo financiero o beneficios para los inversores	€/m <sup>2</sup>	5%
		TOTAL	100%

### 4.3 VERDE NE Residencial y Oficinas

Comúnmente llamada “Certificación VERDE”, por las siglas derivadas del título “Valoración de Eficiencia de Referencia De Edificios”, desarrollado por Green Building Council España (GBCe), esta metodología se aplica en su país de origen. Para edificios residenciales la herramienta se denomina VERDE NE Residencial y Oficinas (GBCe, 2011) y evalúa la reducción de impactos ambientales que el edificio y su emplazamiento generan, comparándolo con un edificio de referencia. El método posee 12 categorías de impactos (Tabla 4), con diferente asignación de pesos, los cuales son ponderados para la obtención de la puntuación final que se expresa gráficamente con un número de “hojas sostenibles”. La evaluación se realiza a través de 36 criterios de sostenibilidad, de un listado de 42, agrupados en 6 áreas temáticas. A cada criterio se asocia una puntuación de referencia, “benchmark”, establecida de 0 a 5 (Macías & Navarro, 2010).

### 4.4 CASBEE-New Construction

CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency), desarrollado por Japan Green Build Council y Japan Sustainable Building Consortium, se utiliza mayoritariamente en Japón. Para la evaluación de la edificación residencial se utiliza CASBEE-New Construcción ((JaGBC) & (JSBC)). Esta metodología relaciona y evalúa la Calidad

Ambiental de la Edificación (Q) y la Carga Ambiental del Edificio (L) y en base a sus resultados se obtiene la Evaluación de la Eficiencia Ambiental de la Edificación (BEE) como un indicador, que se presenta numérica y gráficamente, y que, en definitiva, expresa la sostenibilidad de la edificación a través de 5 niveles representados por estrellas. El sistema estructura las 2 categorías en 6 sub-categorías con diferente asignación de coeficiente de ponderación, para obtener los resultados finales (Tabla 5). Posee 42 ítems de evaluación, con criterios de calificación en escala de nivel 1 a 5.

**Tabla 5:** Categorías y coeficientes de ponderación.  
**Table 5:** Categories and weightings coefficients.

CÓD.	CATEGORÍA DE EVALUACIÓN	COEFICIENTE PONDERACIÓN	%
Q1	Ambiente interior	0,40	40%
Q2	Calidad de servicios	0,30	30%
Q3	Ambiente exterior en el sitio	0,30	30%
LR1	Energía	0,40	40%
LR2	Recursos y materiales	0,30	30%
LR3	Ambiente fuera del sitio	0,30	30%

**Tabla 6:** Temas y perfiles de certificación.  
**Table 6:** Criteria and certification profiles.

SECCIONES	TEMAS DE LA CERTIFICACIÓN	H&M PERFIL A	H&M PERFIL B	QUALITEL
Organización	1. Gestión ambiental del proyecto	•	•	-
	2. Obra limpia	•	-	•
Técnico	3. Energía – Reducción del efecto invernadero	•	•	^
	4. Área constructiva – Elección de materiales	•	•	^
	5. Agua	•	•	•
	6. Confort y salud	•	•	^
Información	7. Acciones Verdes	•	•	•
Opcional	Temas Opcionales	°	°	°

• Obligatorio | - No obligatorio | ° Opcional | ^ Algunos son obligatorios

#### 4.5 Qualitel y Habitat & Environnement

Es el método para la construcción de nuevos edificios residenciales desarrollado por la Association QUALITEL y utilizado mayormente en Francia. Establece 7 temas (categorías) y un octavo opcional (Tabla 6), y no posee factores de ponderación, debido a que los resultados se presentan como la calificación del nivel de desempeño para cada tema. El sistema tiene 14 requerimientos compuestos de varias disposiciones y criterios de evaluación, cuya exigencia de calificación se basa en una escala representada por notas de 1 a 5. La certificación Habitat & Environnement oferta 2 perfiles (A y B) y sus requisitos pueden exigir el cumplimiento de disposiciones o bien un determinado nivel de notas.

#### 5. Discusión y comparación de los métodos de evaluación de la vivienda

Luego de la revisión de cada uno de los métodos de evaluación seleccionados, resta presentar la respectiva discusión, a través de un estudio comparativo. Para esto, se utiliza un marco de evaluación (Baumann & Cowell, 1999), el cual establece 3 áreas de análisis:

- Aspectos generales, referidos a la naturaleza del método,
- Aspectos contextuales, relacionados con el ámbito de utilización del método, y
- Aspectos metodológicos, que describen la estructura del método.

##### 5.1 Aspectos generales

Todos los métodos de evaluación estudiados pueden ser definidos, por su naturaleza, como

herramientas, debido a que representan una evaluación específica con sistematización de procedimientos y utilizan modelos para la obtención de resultados.

#### 5.2 Aspectos contextuales

##### 5.2.1 Tipo de tomadores de decisión

Los métodos se dirigen a los mismos grupos de usuarios: constructores, académicos, industria, empresas de la construcción, usuarios y gobiernos.

##### 5.2.2 Propósito general

Sus propósitos están dirigidos a la adquisición de un edificio, el diseño y la construcción de un nuevo edificio. LEED-H, BREEAM-MR y VERDE-RO también pueden ser utilizados para el mejoramiento del desempeño de un edificio existente, el análisis comparativo y la comunicación a terceros. LEED-H, VERDE-RO, CASBEE y QH&E, por su parte, para la demolición y disposición final del edificio (Tabla 7).

##### 5.2.3 Objeto analizado

Las técnicas poseen un enfoque orientado mayoritariamente a la tecnosfera, dada la cantidad de criterios dirigidos a la eficiencia de los sistemas tecnológicos.

##### 5.2.4 Perspectiva

Se fundamentan en una visión prospectiva, centrándose en predecir el desempeño futuro de la edificación. Sin embargo, también pueden ser retrospectivos dependiendo de la etapa en que se lleve a cabo la evaluación.

**Tabla 7:** Uso previsto, norma ISO 21931-1:2010.  
**Table 7:** Intended use, standard ISO 21931-1:2010.

USOS PREVISTOS	LEED-H	BREEAM	VERDE	CASBEE	QH&E
a) La evaluación de las opciones para:					
1) la adquisición de un edificio;	■	■	■	■	■
2) el diseño y la construcción de un nuevo edificio;	■	■	■	■	■
3) la mejora del desempeño de un edificio ya existente, durante la fase de operación;	■	■	■		
4) el diseño para la restauración y reutilización, durante la etapa de operación;			■		
5) la demolición y disposición final del edificio, al término de su fase de operación;	■		■	■	■
6) el análisis del desempeño ambiental de un edificio existente.					
b) El uso como base para el análisis comparativo.	■	■	■		
c) La comunicación a terceros.	■	■	■		

**Tabla 8:** Dimensiones de la sostenibilidad y cobertura, según norma ISO 15392.  
**Table 8:** Sustainability dimensions and coverage, according to standard ISO 15392.

DIMENSIONES	LEED-H	BREEAM	VERDE	CASBEE	QH&E
AMBIENTAL	-Localización y enlaces -Sitios sustentables -Eficiencia en el agua -Energía y atmósfera -Material y recursos	-Uso de suelo y ecología -Energía -Transporte -Agua -Materiales -Residuos -Contaminación	-Parcela y emplaza. -Energía y atmósfera -Recursos naturales	-Ambiente exterior del sitio -Energía -Recursos y materiales -Ambiente fuera del sitio	-Energía – Reducción del efecto invernadero -Área de la construcción - Elección de materiales -Agua
SOCIAL	-Calidad de ambiente interior	-Salud & bienestar	-Calidad del ambiente interior	-Ambiente interior	-Confort y salud
ECONÓMICO			-Aspectos sociales y económicos		-Desempeño opcional
TÉCNICAS Y FUNCIONALES	-Innovación y diseño	-Innovación	-Calidad del servicio	-Calidad del servicio	-Desempeño opcional
PROCESOS DE GESTIÓN	-Conocimiento y educación	-Gestión			-Gestión ambiental del proyecto -Obra limpia -Acciones verdes

**Tabla 9:** Etapas y certificación.  
**Table 9:** Stages and certification.

ETAPAS DEL CICLO DE VIDA	LEED-H	BREEAM	VERDE	CASBEE	QH&E
Procesos previstos	<input type="checkbox"/>				
Fabricación de materiales de construcción	<input type="checkbox"/>				
Toma de decisiones (Proyecto-Diseño)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Construcción	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Utilización: operación, uso	<input checked="" type="checkbox"/>				
Fin de la vida útil	<input type="checkbox"/>				

Evaluación y certificación    |     Certificación provisional    |     Seguimiento y control

**Tabla 10:** Límite espacial.  
**Table 10:** Space limit.

LÍMITE ESPACIAL	LEED-H	BREEAM	VERDE	CASBEE	QH&E
Edificio y Sitio (parcela)	<input checked="" type="checkbox"/>				
Barrio y Ciudad	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Región Geográfica	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 5.3 Aspectos metodológicos

#### 5.3.1 Dimensiones de la investigación

En las dimensiones de la sostenibilidad, los métodos dan mayor énfasis al área ambiental y social, la económico solo es analizada en VERDE-RO y QH&E. Los métodos también examinan las prestaciones técnicas y funcionales de la edificación, pero los procesos de gestión solo son considerados en LEED-H, BREEAM-MR y QH&E (Tabla 8).

#### 5.3.2 Carácter del método

Los sistemas estudiados se caracterizan por el seguimiento y control de todas las etapas del proyecto, y por llevar a cabo un resultado de evaluación conducente a una certificación. Las diferencias más importantes radican en dicha certificación (Tabla 9). LEED-H, CASBEE-NC y QH&E entregan una certificación al término de la construcción. BREEAM-MR y VERDE-RO, adicionalmente, pre-certifican etapas anteriores a la fase de construcción. En post-construcción los métodos exigen una re-certificación luego de un período determinado.

#### 5.3.3 Bases para la comparación

LEED-H mantiene constantes los pre-requisitos obligatorios en 6 de sus categorías y una puntuación mínima en 4 categorías. BREEAM-MR establece estándares mínimos para cada nivel de

calificación. VERDE-RO compara el desempeño del edificio con otro de referencia, dentro de un rango. CASBEE-NC compara la calidad con las cargas ambientales del edificio. QH&E exige el cumplimiento mínimo en sus disposiciones para 2 perfiles.

#### 5.3.4 Límites del sistema

QH&E y VERDE-RO manejan una menor escala espacial, centrándose en el edificio y el sitio. BREEAM-MR y CASBEE-NC son de mayor escala (Tabla 10).

La temporalidad de LEED-H y VERDE-RO tiene mayor cobertura de las etapas del ciclo de vida de la edificación (Tabla 11).

#### 5.3.5 Tipos de datos

La disposición de datos posee una estructura jerárquica por niveles (Tabla 12), con sistemas de puntuación que califican el desempeño de la edificación. Los sistemas exigen datos de entrada cuantitativos de valor absoluto y entero (LEED, VERDE y CASBEE utilizan puntos, BREEAM-MR utiliza créditos y QH&E, notas), que siguen una escala de puntuación lineal, procedentes del re-cálculo de datos primarios (generalmente indicadores) que son calificados según el nivel de rendimiento. Los datos primarios utilizan combinadamente datos de tipo tanto cuantitativo (niveles de cumplimiento), como cualitativo (satisfacer normativas).

**Tabla 11:** Límite temporal, según norma ISO 21931-1:2010.  
**Table 11:** Temporal limit, standard ISO 21931-1:2010.

LÍMITE ESPACIAL		LEED-H	BREEAM	VERDE	CASBEE	QH&E
Etapa de producción	Suministro de materias	■	■	■	■	■
	Transporte	■		■		
	Fabricación	■	■	■	■	■
Etapa de construcción	Transporte	■		■		■
	Procesos de construcción	■	■	■	■	■
Etapa de uso	Uso y mantenimiento	■	■	■	■	■
	Demolición	■		■	■	■
Etapa de fin de la vida útil	Transporte					
	Reciclado / reutilización	■	■	■	■	
	Disposición			■		

**Tabla 12:** Estructura jerárquica de datos.  
**Table 12:** Hierarchical data structure.

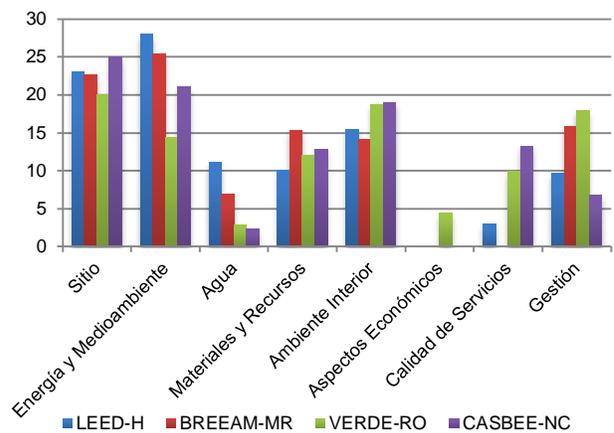
NIVEL	TÍTULO	CONTENIDO
1	Categoría	Áreas generales de la evaluación.
2	Requerimientos	Cualidades (propiedades físicas) analizadas en la evaluación.
3	Criterio	Características evaluadas y niveles de desempeño.
4	Indicador	Unidades de medición y sistema de cálculo.
5	Puntuación	Calificación del nivel de desempeño.

### 5.3.6 Evaluación de resultados / Interpretación

Los resultados se obtienen por la sistematización de los datos. En LEED-H y BREEAM-MR se sistematiza los datos de forma aditiva simple (suma directa de puntos); VERDE-RO y CASBEE-NC lo hace por ponderación (puntuación multiplicada por factor), y QH&E entrega puntos por cumplimiento de disposiciones. La mayoría de métodos tiende a asignar pesos a las categorías, según su importancia (Figura 1). Los mayores pesos son otorgados, en promedio, al sitio, energía y medioambiente, y ambiente interior (Tabla 13).

La presentación de resultados posee formato de agregación (integrando categorías), y se expresa en un único valor cuantitativo que representa el desempeño global de la edificación, agrupados en rangos de rendimiento cualitativo,

en forma de escala de clasificación (Tabla 14). LEED-H exige para su calificación inferior, el puntaje más alto.



**Figura 1:** Pesos asignados a categorías.

**Figure 1:** Weights assigned to categories.

Por su parte, BREEAM-MR y VERDE-RO exigen el puntaje más alto para su calificación superior.

En lo que respecta a la transparencia, los objetivos generales de la evaluación están claramente establecidos solo en BREEAM-MR y VERDE-RO. La relación entre los aspectos de evaluación y sus impactos ocasionados, son de clara apreciación en VERDE-RO y CASBEE-NC. La presentación de resultados por cada fase del ciclo de vida de la edificación, se entrega en VERDE-RO y CASBEE-NC. La derivación de datos para rastrear resultados hasta su origen, no es claro en VERDE-RO, debido a lo complejo de su sistema de calificación (Tabla 15).

**Tabla 13:** Peso porcentual y promedio de categorías.  
**Table 13:** Weight percentages and averages by category.

LÍMITE ESPACIAL	LEED-H	BREEAM	VERDE	CASBEE	PROMEDIO
			(%)		
Sitio	23,04	22,55	20,00	24,99	22,50
Energía y medioambiente	27,94	25,36	14,30	21,00	21,12
Agua	11,03	6,91	2,90	2,25	6,64
Materiales y recursos	10,00	15,31	12,00	12,75	12,66
Ambiente interior	15,44	14,12	18,70	19,00	16,56
Aspectos económicos	-	-	4,40	-	2,20
Calidad de servicios	2,94	-	9,90	13,21	8,08
Gestión	9,61	15,75	17,90	6,80	12,35

**Tabla 14:** Comparación de las escalas de clasificación cualitativa.  
**Table 14:** Comparison of qualitative rating scales.

%	LEED-H	BREEAM	VERDE	CASBEE	QH&E
100	Platino	Excepcional	5 hojas	Excelente	Niveles superiores
90			4 hojas		
80		Excelente	4 hojas		
70	Oro	Muy Bueno	3 hojas	Muy Bueno	Nivel de entrada Certificación
60					Plata
50	Certificado	Aprobado	2 hojas		Bueno
40			1 hoja	Ligera Pobre	
30				Pobre	
20					
10					
0			0 hojas		

**Tabla 15:** Análisis de transparencia de información, normas ISO 21931-1: 2010 y UNE-EN 15643-1.  
**Table 15:** Analysis of information transparency, standards ISO 21931-1: 2010 and UNE-EN 15643-1.

	LEED-H	BREEAM	VERDE	CASBEE	QH&E
Objetivos de la evaluación		■	■		
Acceso a la información	■	■	■	■	■
Técnicas y métodos para evaluar	■	■	■	■	■
Derivación de datos	■	■		■	■
Relación impactos - aspectos			■	■	
Resultados por temas	■	■	■	■	■
Resultados por ciclo de vida			■	■	

## 6. Conclusión

En el presente trabajo se aprecia que los métodos de evaluación poseen los mismos grupos de usuarios y comparten propósitos básicos en la toma de decisiones, sin dejar de tener sus propias intenciones, lo que les lleva a explorar caminos diferentes, dentro del desarrollo

sostenible. Se puede observar que los métodos dan mayor énfasis a la dimensión ambiental y que existen temáticas comunes, que son: Sitio, energía y ambiente, agua, materiales y recursos, y ambiente interior. También se presenta una tendencia a incorporar el análisis de la calidad de servicios y la gestión.

Los métodos de evaluación poseen el concepto de ciclo de vida, y tratan de abordar, básicamente, todas las actividades edificatorias dentro del sitio. La metodología de evaluación posee una estructura jerárquica por niveles, que va de lo general a lo específico, denotando prioridad por unos temas (categorías) sobre otros, en la obtención de los resultados finales. Existen algunos problemas en la transparencia de los métodos, debido a que la mayoría no aclaran los objetivos de evaluación, la relación entre impactos y aspectos evaluados, ni tampoco los posibles resultados en cada fase del ciclo de vida de la edificación.

Es importante que los métodos de evaluación sean más transparentes y para lograr una verdadera evaluación de la sostenibilidad en la edificación residencial, es también necesario trabajar en la integración de todas las dimensiones de la sostenibilidad y sus interrelaciones. La evaluación no solo se debe centrar en temas ambientales, se debe además cubrir temas sociales y económicos, sobretodo en el caso de la vivienda, en que estas temáticas tienen fuertes repercusiones. Se debe establecer claramente, como los métodos relacionan los diferentes aspectos en sus evaluaciones, de esta manera podremos determinar el nivel de efectividad de la evaluación y evitar dobles cómputos innecesarios. Es decir, el trabajo futuro de los nuevos métodos de evaluación de la sostenibilidad, se debe centrar en mejorar la estructura de evaluación, ampliando la cobertura de temas y simplificando los sistemas de calificación.

### Agradecimientos

El trabajo forma parte de la tesis doctoral en el programa del Doctorado de Arquitectura y Urbanismo en la Universidad del Bío-Bío, financiada con beca de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) del Ecuador y auspiciada por la Universidad de Cuenca.

### Referencias Bibliográficas

(JaGBC), Japan GreenBuild Council, & (JSBC), Japan Sustainable Building Consortium.). CASBEE. Retrieved Abril, 2014, from <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/index.htm>

Ali, Hikmat H., & Al Nsairat, Saba F. (2009). Developing a green building assessment tool for developing countries – Case of Jordan. *Building and Environment*, 44(5), 1053-1064. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.07.015>

Ali-Toudert, F. (2007, Septiembre). Towards Urban Sustainability: Trends and Challenges of Building Environmental Assessment Methods. Paper presented at the Central Europa towards Sustainable Building (CESB 07), Prague.

Alyami, Saleh H., & Rezgui, Yacine. Sustainable building assessment tool development approach. *Sustainable Cities and Society*(0). doi: 10.1016/j.scs.2012.05.004

Baumann, H., & Cowell, S. J. (1999). An Evaluative Framework for Conceptual and Analytical Approaches Used in Environmental Management. *Greener Management International*, 26, 109-122.

Berardi, U. (2011). Comparison of sustainability rating systems for buildings and evaluation of trends. Paper presented at the SB11 Helsinki World Sustainable Building Conference, Helsinki. [http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB\\_DC23179.pdf](http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC23179.pdf)

Cole, Raymond J. (1998). Emerging trends in building environmental assessment methods. *Building Research & Information*, 26(1), 3-16. doi: 10.1080/096132198370065

Cole, Raymond J. (1999). Building environmental assessment methods: clarifying intentions. *Building Research & Information*, 27(4-5), 230-246. doi: 10.1080/096132199369354

Cole, Raymond J. (2005). Building environmental assessment methods: redefining intentions and roles. *Building Research & Information*, 33(5), 455-467. doi: 10.1080/09613210500219063

Commission, European. (2013). Community Research and Development information Service. Retrieved Febrero, 2014, from [http://cordis.europa.eu/projects/rcn/78620\\_en.html](http://cordis.europa.eu/projects/rcn/78620_en.html)

Cooper, Ian. (1999). Which focus for building assessment methods – environmental performance or sustainability? *Building Research & Information*, 27(4-5), 321-331. doi: 10.1080/096132199369435

Council, U.S. Green Building. (2013). USGBC. Retrieved Abril, 2014, from <http://www.usgbc.org/>

Darus, Ar Zuhairuse MD, & Hashim, Nor Atikah. (2012). Sustainable Building in Malaysia: The Development of Sustainable Building Rating System. *Sustainable Development - Education, Business and Management - Architecture and Building Construction - Agriculture and Food Security*(7), 113-144. doi: 10.5772/27624

Ding, Grace K. C. (2008). Sustainable construction—The role of environmental assessment tools. *Journal of Environmental Management*, 86(3), 451-464. doi: 10.1016/j.jenvman.2006.12.025

Evans, G. W., Wells, N. M., & Moch, A. (2003). Housing and Mental Health: A Review of the Evidence and a Methodological and Conceptual Critique. *Journal of Social Issues*, 59(3), 475-500. doi: 10.1111/1540-4560.00074

Forsberg, Anna, & von Malmberg, Fredrik. (2004). Tools for environmental assessment of the built environment.

- Building and Environment, 39(2), 223-228. doi: 10.1016/j.buildenv.2003.09.004
- Fowler, K.M., Rauch, E.M., Laboratory, Pacific Northwest National, & Energy, United States. Dept. of. (2006). Sustainable Building Rating Systems: Summary: Pacific Northwest National Laboratory.
- GBCe. (2011). Green Building Council España. Retrieved febrero, 2014, from <http://www.gbce.es/>
- Global, BRE. (2009). BREEAM. Retrieved marzo, 2014, from <http://www.breeam.org/>
- Haapio, Appu, & Viitaniemi, Pertti. (2008). A critical review of building environmental assessment tools. *Environmental Impact Assessment Review*, 28(7), 469-482. doi: 10.1016/j.eiar.2008.01.002
- iISBE. (2009). International Initiative for a Sustainable Built Environment. Retrieved Febrero, 2014, from <http://www.iisbe.org/>
- Immendoerfer, A., Luetzkendorf, T., & Rietz, A. (2011). Sustainability Assessment System for Housing in Germany - Concept, Experiences, Opportunities. Paper presented at the SB11 Helsinki World Sustainable Building Conference, Helsinki. [http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB\\_DC23162.pdf](http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC23162.pdf)
- Jönsson, Åsa. (2000). Tools and methods for environmental assessment of building products—methodological analysis of six selected approaches. *Building and Environment*, 35(3), 223-238. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323\(99\)00016-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323(99)00016-5)
- Kim, Sun-Sook, Yang, In-Ho, Yeo, Myoung-Souk, & Kim, Kwang-Woo. (2005). Development of a housing performance evaluation model for multi-family residential buildings in Korea. *Building and Environment*, 40(8), 1103-1116.
- Kohler, N. (1999). The relevance of Green Building Challenge: an observer's perspective. *Building Research & Information*, 27(4-5), 309-320. doi: 10.1080/096132199369426
- Lee, W. L. (2013). A comprehensive review of metrics of building environmental assessment schemes. *Energy and Buildings*, 62(0), 403-413. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.03.014>
- Luetzkendorf, T., Hajek, P., Lupisek, A., Immendoerfer, A., Nibel, S., & Häkkinen, T. (2011). Next Generation of Sustainability Assessment – Top Down Approach and Stakeholders Needs. Paper presented at the SB11. Helsinki World Sustainable Building Conference, Helsinki.
- [http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB\\_DC23207.pdf](http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC23207.pdf)
- Macías, M., & Navarro, J. García. (2010). Metodología y herramienta VERDE para la evaluación de la sostenibilidad en edificios. *Informes de la Construcción*, 62, 87-100. doi: 10.3989/ic.08.056
- Reed, R., Bilos, A., Wilkinson, S., & Schulte, K. (2009). International Comparison of Sustainable Rating Tools. *Journal of Sustainable Real Estate (JOSRE)*, 1, 1-22.
- Reijnders, L., & van Roekel, A. (1999). Comprehensiveness and adequacy of tools for the environmental improvement of buildings. *Journal of Cleaner Production*, 7(3), 221-225. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0959-6526\(99\)00080-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0959-6526(99)00080-3)
- Schultmann, F., Sunke, N., & Krüger, P. (2009). Global Performance Assessment of Buildings: A Critical Discussion of Its Meaningfulness Paper presented at the CIB 2009, 3rd International Conference On Smart And Sustainable Built Environments (SASBE2009), Delft, The Netherlands.
- Shaviv, E. (2011). Do current environmental assessment methods provide a good measure of sustainability?: Or what should be a good measure for Green Building Standard? Paper presented at the 27th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Louvain-la-Neuve, Belgium.
- Toth, F., & Hizsnyik, E. (1998). Integrated environmental assessment methods: Evolution and applications. *Environmental Modeling & Assessment*, 3(3), 193-207. doi: 10.1023/A:1019071008074
- Trusty, W.B. (2000). Introducing Assessment Tools Classification System. *Advanced Building Newsletter*, 25, 18.
- Wallhagen, Marita, Glaumann, Mauritz, Eriksson, Ola, & Westerberg, Ulla. (2013). Framework for Detailed Comparison of Building Environmental Assessment Tools. *Buildings*, 3(1), 39-60.
- Watermeyer, R B, & Milford, R V. (2003). The Use of Performance Based Building Codes to Attain Sustainable Housing Objectives: The South African Approach. Paper presented at the Global Policy Summit on the Role of Performance-Based Building Regulations in Addressing Societal Expectations, International Policy, and Local Needs, Washington, DC USA.

Recibido: 15|11|2013  
 Aceptado: 23|01|2014