



Revista  
Hábitat Sustentable  
ISSN 0719 – 0700 / Vol 5 Nº 1 / junio 2015

# V5N1



UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO

## Editorial

Con excepcional satisfacción presentamos el octavo número de revista Hábitat Sustentable.

Queremos destacar y agradecer el gran interés mostrado en cada convocatoria. Esto da cuenta de que vamos por el camino correcto, asumiendo un compromiso permanente en mejorar la gestión de nuestra publicación.

La cobertura y la difusión de este quehacer divulgativo continúan avanzando tras haber sido invitados a sumarnos a la Plataforma Open Access de Revistas Científicas Electrónicas Españolas y Latinoamericanas.

Así, HS se convierte en la revista chilena n°42 en cumplir estándar para ingresar a **e-revist@s**, un importante logro para sus fundadores y para todo el equipo editorial, productor y colaborador. Sin duda, un excelente inicio para el año 2015.

Con la plena convicción de estar contribuyendo en forma sustantiva al desarrollo científico, presentamos una edición con importantes aportaciones a la sustentabilidad del hábitat y ambiente construido.

Los dos primeros artículos dan cuenta de investigaciones realizadas en Argentina. La primera aborda temáticas referidas al desempeño ambiental a partir del reacondicionamiento térmico y energético de dos bodegas en la ciudad de Mendoza, mientras que el segundo muestra un estudio -a partir de actividades de monitoreo- del funcionamiento y estrategias de eficiencia energética para un edificio público en la localidad de San Juan.

El tercero presenta una destacable evaluación de mejoramiento de muros desde una simulación energética y análisis de costos de ciclo de vida (LCC) para viviendas de construcción frecuente en Chile.

En una aportación diferente, el cuarto artículo muestra una interesante indagación a partir del análisis de la envolvente arquitectónica y su influencia en la iluminación natural eficiente.

A partir de una visión en la valoración de proyectos de construcción que incorpora criterios sustentabilidad más allá de lo tradicionalmente evaluable, el quinto presenta una evaluación a través del presupuesto de la energía incorporada al proyecto de edificación en España.

Finalmente cierra este número un artículo que muestra un particular análisis reflexivo a escala urbana, sobre la integración de la Universidad de Sevilla en España, como un organismo disperso en la ciudad, desde la óptica de la sustentabilidad, considerando criterios de movilidad y desarrollo de zonas verdes.

Como equipo editorial, agradecemos nuevamente el interés y confianza de los autores en nuestra revista, como así mismo todo el aporte y colaboración prestado por los respectivos revisores.

Las últimas palabras de agradecimiento y reconocimiento, van dirigidas en forma especial al apoyo recibido del Proyecto CD-INES en Hábitat Sustentable de la Universidad del Bío-Bío, aportando un importante financiamiento operativo, el cual ha permitido ir mejorando el estándar editorial de HS.

Artículo  
Recibido 15-10-2014  
Aceptado 14-04-2015

# Evaluación del desempeño ambiental de dos bodegas en Mendoza (Argentina). Propuesta de reacondicionamiento térmico y energético

Evaluation of the environmental performance of two wineries in Mendoza, Argentina: A proposal for thermal and energy refurbishment

CAROLINA GANEM KARLEN, Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda INCIHUSA - CONICET; Proyectos de Carreras de Diseño. FAD - UNCUYO, Mendoza, Argentina \ cganem@mendoza-conicet.gov.ar

JULIETA BALTER, Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda INCIHUSA - CONICET, Mendoza, Argentina \ jbalter@mendoza-conicet.gov.ar

GUSTAVO JAVIER BAREA PACI, Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda INCIHUSA - CONICET, Mendoza, Argentina \ gbarea@mendoza-conicet.gov.ar

## Palabras clave:

Desempeño ambiental, bodegas, reacondicionamiento térmico y energético

## RESUMEN

Este trabajo presenta la evaluación del desempeño térmico y energético de dos bodegas en la provincia de Mendoza, Argentina (32°40' Latitud Sur, 68°51' Longitud Oeste, 750 metros sobre el nivel del mar). Se ha escogido la vendimia (febrero-marzo) como período a analizar debido a que la demanda de refrigeración es entonces mayor: toneladas de materia prima (a alrededor de 26-30°C) deben ser procesadas a 8°C, mientras que las temperaturas exteriores se encuentran alrededor de los 38°C. Las bodegas seleccionadas tienen la misma cantidad y calidad de producción y similar tamaño edilicio, pero diferente manejo y materialidad en la envolvente. La bodega "P" fue construida con paredes de ladrillos tradicionales, con techo metálico con aislamiento térmico y simple vidrio en ventanas; mientras que la bodega "H" se construyó parcialmente con paneles de hormigón armado con aislamiento térmico, techos metálicos con aislamiento y doble vidrio hermético en sus aberturas. Se tomaron mediciones in situ de temperatura del aire, temperatura superficial en la envolvente, humedad relativa y radiación solar, y se estudiaron en relación a los registros de consumos energéticos de cada bodega. Luego, con los datos obtenidos se ajustó un modelo generado con el software Energy Plus, el cual se utilizó para simular alternativas de mejora de la envolvente. Como resultado, ambas bodegas presentaron mejoras. Las temperaturas medidas en bodega P fueron igualadas en un promedio de 18.89°C sin el uso de energía auxiliar. En el caso de la bodega H las temperaturas medidas se optimizaron, logrando un promedio de 21.77°C, otra vez, sin el uso de energía auxiliar. Existe la posibilidad de agregar estrategias de ventilación nocturna usando las temperaturas exteriores las cuales disminuyen en 9,78°C en el período analizado. La propuesta de reacondicionamiento térmico y energético que incorpora mejoras edilicias y el manejo de la envolvente durante la operación del mismo dan como resultado temperaturas mínimas interiores, sin el uso de energía auxiliar de 15.65°C, óptimas para la elaboración vitivinícola.

## ABSTRACT

This article evaluates the thermal and energy performance of two wineries in the province of Mendoza, Argentina (32° 40' S, 68° 51' W, 750m above sea level). The grape harvesting period (February–March) was selected for analysis because cooling demand at that time is higher: tons of hot raw material (at approximately 26-30°C) enter the wineries to be processed at 8°C, while outdoor temperatures are around 38°C. The selected wineries have similar-sized buildings and the same quantity and quality of production, but different management and envelope materiality. Winery P was built with walls of traditional bricks, single pane windows and a metal roof with thermal insulation; while winery H's walls were partially built of reinforced concrete panels with thermal insulation, insulated metal roofs and double pane windows. Air, envelope surface, relative humidity and solar radiation temperatures were measured in situ and studied in relation to the energy consumption records of each winery. Then, with the data obtained, a model was generated with Energy Plus software, which was used to simulate envelope improvement alternatives. As a result, both wineries showed improved performance. The temperatures measured in winery P reached an average of 18.89 °C without the use of auxiliary energy. In the case of winery H, temperatures were optimized, thereby achieving an average of 21.77 °C, once again without the use of auxiliary energy. Moreover, it is possible to integrate night ventilation strategies using outdoor temperatures that decrease 9.78 °C in the period analyzed. The thermal and energy refurbishment proposal, which integrates building and envelope improvements, results in minimum indoor temperatures of 15.65 °C without the use of auxiliary energy—optimal for wine production.

## Keywords:

Environmental performance, wineries, thermal and energy refurbishment

## 1 INTRODUCCION

En la provincia de Mendoza, Argentina, la producción de vino es la industria regional más importante ya que corresponde a una economía emergente, y, por lo tanto, su consumo de energía no renovable se multiplica cada año. Del año 2000 al 2009, la superficie cultivada con plantas de uva pasó de 201.113 hectáreas a 228.575 hectáreas. En 2000, la cantidad de uvas de alta calidad producida fue de 1.275.772 toneladas y en 2013 esta cifra aumentó a 1.997.442 toneladas (Instituto Nacional de Vitivinicultura, 2014). Yravedra Soriano (2003) y Moreno (2008) han analizado, en este sentido, la arquitectura de bodegas desde una aproximación cultural y sustentable en las regiones españolas de Andalucía, Catalunya y La Rioja. Asimismo, Ganem y Coch (2013) lo han hecho en la provincia de Mendoza, Argentina. En todos los estudios se concluye que cada etapa de la producción requiere el logro de ciertas condiciones micro-climáticas, factibles de ser tenidas en cuenta desde el diseño arquitectónico. Una mejor envolvente ayuda a mantener temperaturas interiores más estable y frescas y, en consecuencia, a reducir el consumo de energía auxiliar. Este trabajo se centrará en dos fases principales de la producción: la fermentación y la crianza.

La fermentación se realiza, normalmente, en tanques metálicos. La temperatura de los tanques es más importante que la del espacio habitable, ya que la materia prima es la que tiene estar a temperatura controlada. Los tanques metálicos poseen una doble piel por donde circula agua caliente o fría, dependiendo de lo que se necesite en cada etapa. El CO<sub>2</sub> generado por las reacciones químicas, con una mayor densidad que el aire, desciende y se acumula en la parte inferior. De manera que se necesita una ventilación inferior para renovar el aire del espacio. Otro aspecto a tener en cuenta es el control de la luz natural que puede afectar la fermentación y que debe ser controlada con el fin de permitir a los trabajadores realizar las tareas que asisten al proceso de producción del vino.

La crianza se realiza en barricas de madera (roble americano o francés) y, en algunos casos, en tanques de acero inoxidable. En este proceso, mantener a los cuatro parámetros micro-climáticos controlados (temperatura, humedad, iluminación y ventilación) es esencial para obtener los resultados esperados. Es fundamental tener en cuenta las siguientes referencias:

**Temperatura del aire entre 12-16 °C y humedad relativa entre 70-82%.**

**Movimiento de aire: elimina malos olores y otras sustancias volátiles de aire que pueden filtrarse a través de las barricas de madera.**

**Luz mínima. Debe usarse sólo cuando es absolutamente necesario.**

En este artículo se presenta la evaluación del desempeño térmico y energético de dos bodegas que tienen similar superficie cubierta, la misma cantidad y calidad de producción, pero con diferente distribución espacial y materialidad en la envolvente. Las mismas se ubican en Mendoza, Argentina (32°40' Latitud Sur, 68°51' Longitud Oeste) y a 750 metros sobre el nivel del mar. El análisis se realizó durante la vendimia (febrero-marzo) debido a que se trata del periodo de mayor demanda de refrigeración: toneladas de materia prima (a alrededor de 26-30°C) entran en la bodega para ser procesada a 8°C, mientras que las temperaturas exteriores se hallan alrededor de 38 °C.

En concreto, el objetivo de este trabajo es identificar las ventajas y desventajas de dos bodegas (P y H), y proponer recomendaciones de diseño y de funcionamiento para mejorar el desempeño ambiental de cada caso.

Para ello se propone:

**Realizar un diagnóstico** mediante mediciones in situ durante los meses de consumo energético auxiliar más intensivo (febrero-marzo).

**Elaboración de un modelo teórico** de las bodegas mediante el software Energy Plus. Ajuste del mismo en función de los datos obtenidos de la realidad.

**Simulación y evaluación** de propuestas de reacondicionamiento térmico y energético de los edificios.

**Evaluación de estrategias** de mejora del comportamiento energético y térmico mediante estrategias pasivas de funcionamiento del edificio.

## 2 CASOS DE ESTUDIOS.

Envolvente vertical	Envolvente horizontal	Envolvente transparente
Paredes de ladrillo Espesor 0.40m U= 1.67 W/m <sup>2</sup> K	Techo galvanizado con lana de vidrio compacta de 0.05m U= 0.69 W/m <sup>2</sup> K	Simple vidrio con marcos metálicos U= 5.8 W/m <sup>2</sup> K

Tabla.1 Propiedades termofísicas de la bodega P.

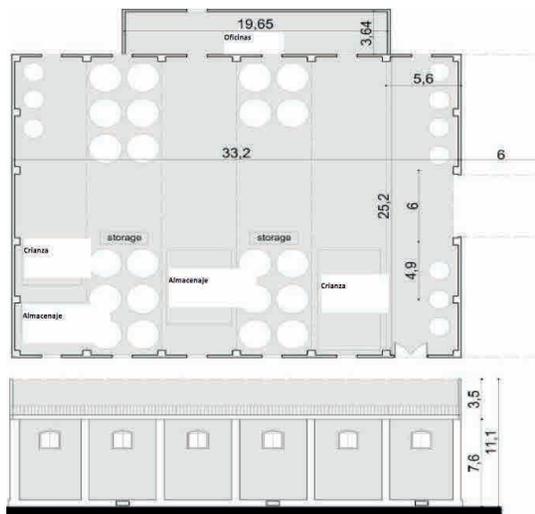


Figura 1. Bodega P. Planta y vista Norte.



Figura 2. Bodega P. Fotografías.

### Bodega P.

En la bodega "P" se encuentran, en el mismo espacio unificado, las etapas de producción, fermentación y crianza. Dicho espacio posee 25,60m de longitud, 33,6m de ancho y una altura de 7,40m. Una parte del almacenamiento se realiza dentro de la bodega y otra gran parte en el exterior, debajo de la galería del sur, junto con el embotellado. Los techos son inclinados 30° hacia el Norte y el Sur, con eje central Este-Oeste, y con una altura máxima de 10,50m. La superficie total es de 860m<sup>2</sup> y el volumen de 7697m<sup>3</sup>. Véase Figura 1.

La envolvente vertical de la bodega P fue elaborada con técnicas constructivas tradicionales locales: paredes de ladrillos de 0.40m de espesor sin aislación térmica. La conductividad térmica es de U=1.67 W/m<sup>2</sup>K. Las aberturas se distribuyen en la parte superior a lo largo de toda la envolvente (a 1,80m de altura desde el suelo con una longitud de 1m de ancho). En la parte inferior de la envolvente (a 0,40m del piso) también existen pequeñas ventanas horizontales que pueden abrirse y contribuyen a ventilar el CO<sub>2</sub> que se acumula durante el proceso de fermentación. Todas las ventanas son de simple vidrio con marcos metálicos y sin protección solar. Su conductividad térmica es de U=5.8 W/m<sup>2</sup>K. Las ventanas representan el 4.4% del área del piso. Los techos son metálicos de acero galvanizado con lana de vidrio compacta de 0,05 m de espesor. Su conductividad térmica es de U=0.69 W/m<sup>2</sup>K. Véase Figura 2 y Tabla 1.

Envolvente vertical 1	Envolvente vertical 2	Envolvente horizontal	Envolvente transparente
Hormigón prefabricado 0.20m de espesor, con poliestileno expandido interior de 0.05m de espesor U= 0.34 W/m2K	Hormigón prefabricado 0.20m de espesor U= 2.4 W/m2K	Techo de chapa galvanizada con lana de vidrio compacta de 0.05m de espesor U= 0.69 W/m2K	Doble vidrio con marcos de aluminio U= 3.6 W/m2K

Tabla.2 Propiedades termofísicas de la bodega H (existente).

### Bodega H.

En la bodega H se divide cada proceso de producción del vino, la fermentación, crianza y embotellado/almacenamiento. Cada espacio tiene 19,8m de ancho, 19,5m de largo y 9m de altura. En total, suman una longitud total de 59,4m. La superficie cubierta total es de 1.158m<sup>2</sup> y el volumen, de 10.422m<sup>3</sup>.

Con el fin de comparar las mismas etapas de producción en ambas bodegas, en este trabajo se consideran dos de los tres espacios interiores (fermentación y crianza). Por lo tanto, para el análisis se toma una superficie construida de 772m<sup>2</sup> y un volumen de 6948m<sup>3</sup>, siendo estas cifras similares al caso de la bodega P. Véase Figura 3.

La envolvente vertical Oeste fue construida con innovadoras técnicas constructivas para la región, que consisten en paneles modulados de hormigón armado prefabricado, los cuales poseen 0.20m de espesor, con 0,05 m de poliestireno expandido en su interior. Los muros Norte, Este y Sur no tienen aislamiento térmico. La estructura del edificio se pensó con columnas y vigas transversales metálicas y de hormigón. Las ventanas horizontales se distribuyen uniformemente a lo largo de la envolvente vertical, en la parte superior de la misma (0,50m de altura). Todas las ventanas son de doble vidrio hermético con marcos de aluminio y sin protección solar. Su conductividad térmica es de U=3,6W/m<sup>2</sup>K. Estas ventanas representan el 4,6% del área del piso. Los techos son metálicos de acero galvanizado, con aislamiento de lana de vidrio compacta de 0,05m de espesor. Además, la bodega presenta cielorraso interior. Su conductividad térmica es de U = 0,69 W / m<sup>2</sup>K. Véase Figura 4 y Tabla 2.

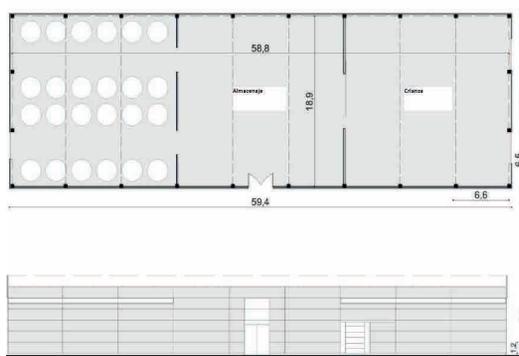


Figura 3. Bodega H. Planta y vista Este.



Figuras 4. Bodega H. Fotografías.

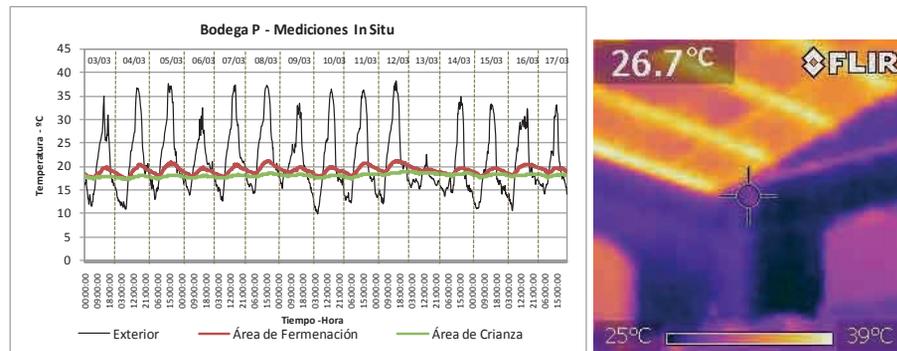


Figura 5. Bodega P. Izquierda: temperaturas medidas *in situ* del 3 al 17 de marzo, 2014. Derecha: imagen termográfica (paredes, ventanas y techo desde el interior).

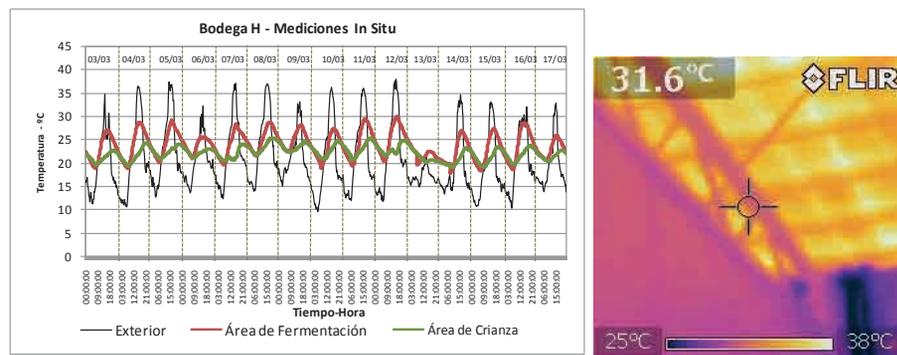


Figura 6. Bodega H. Izquierda: temperaturas medidas *in situ* del 3 al 17 de Marzo, 2014. Derecha: imagen termográfica (paredes, estructura metálica y techo desde el interior).

### 3 COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y CONSUMO ENERGÉTICO.

Las mediciones in situ, fueron tomadas al mismo tiempo en ambas bodegas durante los meses de febrero y marzo de 2014 (correspondientes al período de cosecha) y fueron estudiados en relación con los registros de consumo de energía proporcionados por los propietarios. Se seleccionó un período de quince días representativos desde el 3 al 17 de marzo del 2014. Las temperaturas y humedad relativa fueron tomadas con dataloggers HOBO U12, con registros cada 15 minutos, ubicados en el centro de las áreas de fermentación y crianza, a una altura media de 2 metros, y siguiendo las recomendaciones de Kohler y Hassler (2002) y Oke (2004). Asimismo, se tomaron datos de temperatura y humedad exterior que se protegieron de la radiación solar. Esta última se auditó con un sensor Lutron SPM-116SD y las temperaturas superficiales de la envolvente fueron tomadas con una cámara termográfica FLIR i3 en días y horarios seleccionados, durante toda la fase de medición.

En el período analizado, la bodega P registra un consumo energético de 2.3kW.día (2.6W.m2.día) más 31,6kg.día de GLP propano (0,037kg.m2.día de GLP propano), mientras que la bodega H consumió 1,5kW.día (1,9W.m2.día). Las diferencias de energía auxiliares responden no solamente a la resolución de la envolvente, sino también a la temperatura interior resultante del uso de energía auxiliar para la refrigeración. Las temperaturas exteriores medias

fueron de 20.56°C, con variaciones diarias de 9.78°C (de 38.14°C a 28.36°C).

En la bodega P, el área de crianza presenta una temperatura interior casi constante con un valor medio de 17.97°C y variaciones diarias de 1.57°C (de 17.20°C a 18.77°C); en el área de fermentación, la temperatura interior media es de 18.95°C con variaciones diarias de 4.35°C (de 16.68°C a 21.03°C). En ambas se utiliza energía auxiliar para refrigeración. Es significativo observar que las temperaturas medias son ligeramente inferiores a los exteriores, no obstante la variación diaria se reduce de 28.36°C a 1.57°C en el área de crianza. Véase Figura 5.

En la bodega H, los procesos de producción y de crianza se separan en dos zonas, que también usan energía auxiliar para refrigeración. La temperatura interior media medida fue de 22.09°C, con variaciones diarias de 6.51°C (de 18.82°C a 25.33°C), dejando a los otros espacios interiores, como la fermentación, para funcionar casi con total independencia, con temperaturas medias de 23.61°C y variaciones diarias de 12.30°C (desde 17.87°C a 30.17°C). En el área de fermentación, la variación diaria se ha reducido de 28.36°C a 12.37°C. Véase Figura 6.

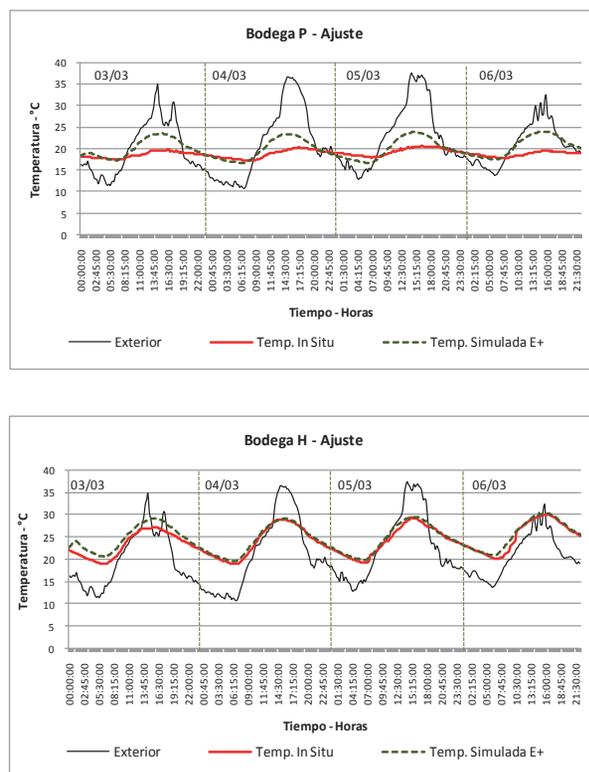


Figura 7. Bodega P: temperatura medida *in situ* y simulada.  
 Bodega H: temperatura medida *in situ* y simulada.

## 4 DISCUSIÓN.

La bodega P alberga la fermentación y la crianza en el mismo espacio interior, por lo tanto, en ambos procesos la temperatura del aire es controlada. A pesar de que los refrigeradores están situados al lado de las barricas de roble (crianza) y los tanques de acero inoxidable (fermentación) se enfrían con serpentines interiores, comparten el ambiente interior. Este tipo de refrigeración en el interior de los tanques también afecta al aire interior. Las diferencias en el consumo de energía, a partir de los datos obtenidos, son consistentes con aspectos de funcionamiento de la bodega P, donde se consume 37% más electricidad que en la bodega H, además de gas propano GLP.

En el caso de la bodega H se ha pensado en dos estrategias de refrigeración para la producción de vino. Tal como se explicó anteriormente, las zonas de fermentación y de crianza se encuentran en espacios diferenciados. En la zona de crianza, donde se hallan las barricas de roble, la temperatura se controla por medio de equipos de aire acondicionado. En cambio, en la zona de fermentación se acepta que la temperatura del aire del espacio se encuentre más cerca de las temperaturas exteriores, y la energía auxiliar se usa para refrigerar los tanques de acero que contienen el producto a temperatura deseada.

Con el fin de proponer recomendaciones para mejorar

el desempeño térmico y energético de las bodegas, se realizaron dos modelos con Energy Plus 8.1, software de simulación térmica-energética desarrollado por DOE (U.S. National Department of Energy) (2014).

En la Figura 7 se muestran las temperaturas simuladas y las efectivamente medidas de cada caso. En la bodega P, como en el interior se usa energía auxiliar para enfriar durante el día, las temperaturas medidas y simuladas (sin la energía auxiliar en el modelo de simulación) difieren en 4°C. Por la tarde y por la noche las temperaturas simuladas y medidas presentan una diferencia media de 0,5 grados centígrados. Se decidió trabajar con el modelo simulado sin el aporte de enfriamiento de aire en el espacio de la fermentación. En este hipotético escenario descrito, la temperatura media interior es de 20.27°C, con variaciones diarias de 7.25°C (de 16.81°C a 24.06°C). Véase Figura 7.

En el caso de la bodega H, las temperaturas obtenidas a partir de la simulación, utilizando datos microclimáticos locales, se ajustan muy bien a las temperaturas medidas en el área de la fermentación (la variación entre las temperaturas reales y simuladas es de 0.9°C), ya que el espacio no presenta energía auxiliar que afecte a la temperatura del aire. Véase Figura 7.

## 5 PROPUESTAS DE MEJORAS EN LA ENVOLVENTE.

Ninguna de las dos bodegas, P y H, alcanzan la temperatura interior deseada con la resolución técnica de la envolvente actual. Para proponer mejoras se tiene en cuenta que hay algunos aspectos constructivos, como la forma, la orientación y la ubicación, que no pueden ser cambiados. Se ha diferenciado tres variables que pueden estar sujetas a cambios en los modelos simulados: propiedades termofísicas de la envolvente, intercambios de aire interior-exterior e incorporación de protección solar.

Las recomendaciones propuestas se orientan a reducir la temperatura interior, con el fin de aproximarse lo más posible a los 16°C, con variaciones mínimas diarias. Cabe indicar que temperaturas como aquella se consiguen de forma natural en la región, mediante bodegas subterráneas (Ganem y Coch, 2010; 2012).

Envolvente vertical	Envolvente horizontal	Envolvente transparente
Paredes de ladrillo de 0,40m de espesor con 0,05m con poliuretano con terminación plástica. U= 0,31 W/m <sup>2</sup> K	Chapa galvanizada con 0,10m de aislamiento térmico, lana de vidrio compacta. U= 0,34 W/m <sup>2</sup> K	Doble vidrio hermético, marcos de aluminio con RPT y Low-e. U= 1,2 W/m <sup>2</sup> K

Tabla.3 Propiedades termofísicas de bodega P (propuestas).

### Bodega P.

La bodega P no tiene aislación térmica en la envolvente vertical y exhibe una conductancia de U=1,67 W/m<sup>2</sup>K. La propuesta de mejora radica en incorporar 0,05m de poliuretano expandido con un acabado de yeso de terminación, de modo de disminuir el U a 0,31W/m<sup>2</sup>K. También se ha duplicado la aislación en techos, a través de lana de vidrio compacta, ya que es la superficie arquitectónica que recibe más radiación solar: el 30% del total distribuido durante el día, lo que representa 25.700kJ/m<sup>2</sup>.día (Ganem, 2006). Los valores de conductancia del techo (U) cambian, entonces, de 0,69 W/m<sup>2</sup>K a 0,34W/m<sup>2</sup>K. Las ventanas representan sólo el 4,4% de la superficie cubierta, sin embargo, se propone mejorar con marcos de aluminio con ruptura de puente térmico y un recubrimiento de baja emisividad. La conductancia lograda es de U=1,2W/m<sup>2</sup>K. Ver Tabla 3.

El intercambio de energía exterior-interior, por medio de infiltraciones y aberturas, se ha controlado y reducido durante las horas diurnas, a 1.2 r/h (sobre todo, entre la 1pm y las 6pm, hora solar, cuando las temperaturas exteriores son mayores a los 30°C). Es importante tener en cuenta que debido a la producción de CO<sub>2</sub>, a partir de procesos de fermentación, es clave mantener el movimiento del aire dentro de los espacios de la bodega.

### Bodega H.

La bodega H presenta diferentes tipos de envolvente vertical (ver Tabla 2). Sólo la pared Oeste posee aislación térmica y un U=0,34 W/m<sup>2</sup>K. Se propone incorporar 0,05m de poliuretano expandido, con un acabado de yeso en el interior, en muros Norte, Sur y Este. Esta mejora disminuye los valores U, de 2,4W/m<sup>2</sup>K a 0,34W/m<sup>2</sup>K. También se duplica la aislación térmica en techo, disminuyendo las conductividades, de 0,69W/m<sup>2</sup>K a 0,34W/m<sup>2</sup>K.

Las ventanas representan sólo el 4,6% de la superficie del edificio, sin embargo, también se mejoran con marcos RPT (ruptura de puente térmico) y lámina de baja emisividad (Low-e), logrando un de U=1,2W/m<sup>2</sup>K. Ver Tabla 4.

Envolvente vertical 1	Envolvente vertical 2	Envolvente horizontal	Envolvente transparente
Hormigón prefabricado 0.20m de espesor, con poliestileno expandido interior de 0.05m de espesor. U= 0.34 W/m2K	Hormigón prefabricado 0.20m de espesor, con poliestileno expandido interior de 0.05m de espesor. U= 0.34 W/m2K	Techo de Chapa Galvanizada con lana de vidrio compacta de 0.10m de espesor U= 0.34 W/m2K	Doble vidrio hermético, marcos de aluminio con RPT y Low-e. U= 1.2 W/m2K

Tabla.4 Propiedades termofísicas de bodega H (propuestas).

## 6 RESULTADOS

Gracias a las propuestas de optimización, ambas bodegas presentan mejoras, principalmente en dos aspectos: la amplitud o rango térmico y su estabilidad térmica interior. En el período analizado, la bodega P alcanza una temperatura interior media de 20.46°C con variaciones diarias de 2.88°C (de 19.22°C a 22.11°C). A pesar de que estas temperaturas son un poco más altas que las no simuladas, el edificio con mejoras no necesita aquí energía auxiliar para enfriar el espacio, lo que representa una inmensa ventaja.

Nótese que las temperaturas mínimas medidas son más bajas que las simuladas: 16.68°C (medida) a 19.22°C (simulada). Diferencia que se produce al reducir el intercambio de aire exterior-interior. Si añadimos estrategias de ventilación nocturna a la reforma planteada, con temperaturas exteriores de 9.78°C, las temperaturas interiores mínimas se registran en 13.50°C, sin energía auxiliar. Esta combinación de estrategia de ventilación con el aumento de aislación en la envolvente existente, hace que las temperaturas medias interiores sean inferiores a 18.89°C. Véase Figura 8.

Con respecto a la bodega H, el edificio simulado con mejoras alcanza una temperatura interior media de 23.83°C, con variaciones diarias de 3.45°C (de 22.09°C a 25.75°C). Estas temperaturas son inferiores a las medidas efectivamente, y se logran sin utilizar energía auxiliar. En la Figura 9, se puede observar que las temperaturas mínimas son más altas que las medidas: 18.82°C (medida) a 22.09°C (simulada), debido a la reducción del intercambio de aire exterior-interior.

Existe la posibilidad de añadir, a las reformas de la envolvente propuestas, estrategias de ventilación nocturna, usando las temperaturas exteriores, las cuales disminuyen en 9,78°C en el período analizado. Con esta estrategia, se puede observar temperaturas mínimas interiores de 15.65°C. La combinación de refuncionalización de la envolvente existente y el correcto manejo de la misma permite que las temperaturas medias sean inferiores a 21.77°C. Véase Figura 9.

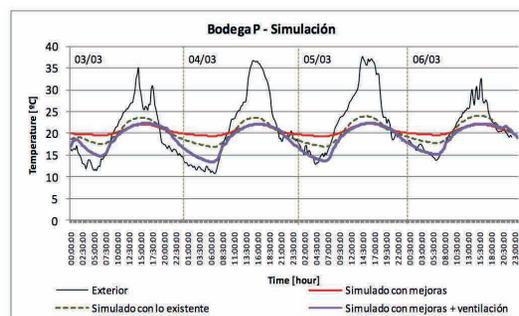


Figura 8. Bodega P: Resultados de la simulación.

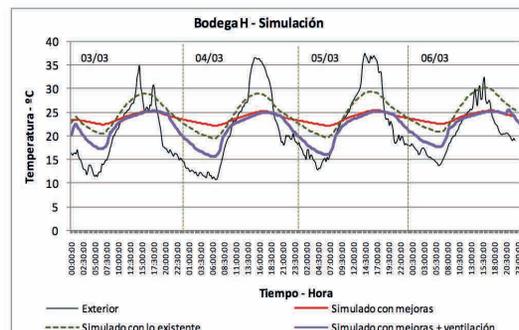


Figura 9. Bodega H: Resultados de la simulación.

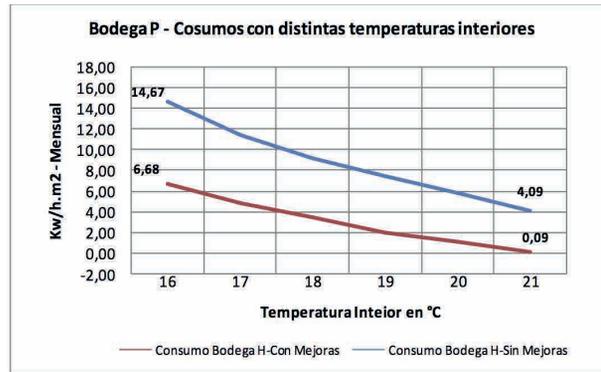


Figura 10. Bodega P: Consumos energéticos mensuales para temperaturas interiores entre 16°C y 21°C para el caso de la bodega sin mejoras y para la bodega con mejoras.

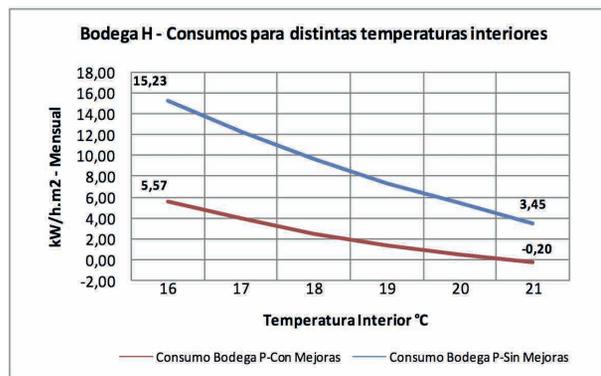


Figura 11. Bodega H: Consumos energéticos mensuales para temperaturas interiores entre 16°C y 21°C para el caso de la bodega sin mejoras y para la bodega con mejoras.

## 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Ante todo, podemos concluir que es necesario evaluar las bodegas caso por caso. Sin embargo, este estudio hace posible plantear algunas recomendaciones interesantes:

La primera interrogante que debemos dilucidar, que afecta al rendimiento de la bodega y, por lo tanto, el consumo de energía auxiliar, es si conviene refrigerar el espacio de fermentación para bajar la temperatura del aire interior, o si es mejor controlar la temperatura dentro del proceso de producción de vino, con tanques refrigerados.

El segundo aspecto a tener en cuenta es el lugar sobre el que está construida la bodega: sobre o bajo el suelo. En el último caso, es necesario tener una buena envolvente con resistencia térmica adecuada, protección solar e infiltraciones controladas. También es importante que la envolvente tenga masa térmica para reducir las variaciones diarias de temperatura interna, en un clima con casi 30°C de variaciones diarias exteriores.

La tercera consideración está relacionada con el manejo de la envolvente. Las Figuras 8 y 9 muestran las posibilidades de mejora en un edificio pasivo, sin el manejo del usuario, y las posibilidades de mejora si

añadimos, a las estrategias de diseño de envolvente, la acción activa de las personas: abrir ventanas sólo de noche.

A continuación, se trabajan estos conceptos y se aplican en forma específica para los casos de estudio. Así, se presentan en las Figuras 10 y 11 los consumos estimados en kW/h.m2, con distintas opciones de temperatura interior para las bodegas P y H, respectivamente.

A partir de la propuesta de reacondicionamiento, la envolvente se optimiza para tener una adecuada resistencia térmica al clima del lugar. Como ya se ha demostrado, se logran temperaturas interiores en el orden de los 21°C, para el caso de la bodega P, y de 20.5°C, para el caso de la bodega H; equivalentes a las que hoy presentan esos establecimientos vitivinícolas, sin el uso de energía auxiliar. A igualdad de condiciones térmicas interiores, se logra un ahorro energético de 4 kW/h.m2, en el caso de la bodega P, y de 3.65 kW/h.m2, para el caso de la bodega H. Estos consumos equivalen a 120 kW/h.m2 por mes para el caso de la bodega P y 109.5 kW/h.m2 por mes para el caso de la bodega H. Al tratarse de establecimientos de aproximadamente 900m2, los consumos implican cifras de más de 100.000kW/h por mes.

Este punto base en el que el consumo es igual a cero para la bodega reacondicionada térmicamente puede ser incluso mejorado, utilizando la estrategia de ventilación nocturna en las noches en las que sea posible aplicarla. Se debe tener en cuenta que la provincia de Mendoza presenta un 30% de días en calma, durante los cuales esta estrategia presenta dificultades en su aplicación. No obstante, para el 70% restante de los días, con la utilización de la ventilación nocturna cruzada como estrategia pasiva de acondicionamiento térmico, las temperaturas interiores pueden disminuir hasta 16°C. Esta es la temperatura ideal para el funcionamiento de una bodega ya que es equivalente a la condición térmica interior de una bodega enterrada. Para el caso del inicio del proceso de fermentación el  $\Delta T$  se disminuye a 8°C, diferencia que se propone manejar a través de las serpentinas en el interior de los tanques.

Si se aplica la estrategia de ventilación cruzada nocturna, se pueden obtener valores máximos de ahorro adicional en la bodega P de 6.68 kW/h.m<sup>2</sup>, para el caso de la bodega reacondicionada, y de 14.67 kW/h.m<sup>2</sup>, para el caso de la bodega existente. Estos valores equivalen a 200 kW/h.m<sup>2</sup> por mes y 440 kW/h.m<sup>2</sup> por mes, respectivamente. Se trata de consumos para 900 m<sup>2</sup> en el orden de 180000 kW/h por mes y 396000 kW/h por mes, respectivamente.

En la bodega H la aplicación de la estrategia de ventilación cruzada permite reducciones en el consumo energético en el caso mejorado de 5.57 kW/h.m<sup>2</sup> (equivalentes a 150000 kW/h mes para 900m<sup>2</sup>). En el caso de la bodega existente dichas reducciones en el consumo energético son de 15.23 kW/h.m<sup>2</sup> (equivalentes a 411000 kW/h mes para 900m<sup>2</sup>).

## 8 AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los propietarios de bodega P y bodega H por darnos la posibilidad llevar a cabo el estudio en sus instalaciones industriales. Esta investigación ha sido financiada por FONCYT PICT 08-1894 (2010-2014), y UNCuyo SECTyP 06/1198 (2013-2015).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOE. U.S. National Department of Energy. 2014. Energy Plus Version 8.1.

GANEM, Carolina. *Rehabilitación ambiental de las envolventes de viviendas. El caso de Mendoza*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2006.

GANEM, Carolina y COCH, Helena. *Envelope characterization and self-climatic regulation assessment for a winery in the province of Mendoza, Argentina*. World Renewable Energy Congress XI, Abu Dhabi, UAE. 2010. 573 p.

GANEM, Carolina y COCH, Helena. *An environmental review of wineries over the last centuries: from vernacular to high tech*. PLEA 2012 - 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture Lima, Perú. 2012.

GANEM, Carolina y COCH, Helena. *Bodegas sobre-suelo y estabilidad térmica interior. Análisis de envolventes tradicionales y contemporáneas en Mendoza, Argentina*. *Revista Hábitat Sustentable*, 2013, vol. 3, pp. 15-25.

Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV). Estadísticas [en línea]. 2014 [Consultado 26/06/2014]. Disponible en: [www.inv.gov.ar](http://www.inv.gov.ar).

KOHLER, Niklaus y HASSLER, Uta. *The building stock as a research object*. *Building Research & Information*, 2002, vol. 30, n° 4, pp. 226-236.

MORENO, Javier. *La bodega: modelo de arquitectura sostenible*. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2008.

OKE, Tim R. *Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations At Urban Cites*. Geneva: Iom Report, Td. In Press, World Meteorological Organization, 2004.

YRAVEDRA SORIANO, María José. *Arquitectura y cultura del vino*. Madrid: Ed. Munilla-Lería, 2003.

Artículo  
 Recibido 27-10-2014  
 Aceptado 14-04-2015

# Monitoreo de funcionamiento y estrategias de eficiencia energética para el edificio público de Obras Sanitarias Sociedad del Estado, San Juan, Argentina

Operations monitoring and energy efficiency strategies in the Obras Sanitarias Sociedad del Estado (State Sanitary Works Company) public building, San Juan, Argentina

YESICA ALAMINO NARANJO, Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina \ yesialamino@hotmail.com

CELESTE GIL ROSTOL, Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina \ celeste\_252@hotmail.com

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

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

**Palabras clave:**

Uso racional de energía, artefactos eléctricos, monitoreo energético

**RESUMEN**

El incremento de la potencia instalada en los sectores de consumo, por encima de la capacidad de generación, en los últimos diez años, sitúa a Argentina como país dependiente energéticamente. Una de las medidas de mitigación de las consecuencias ambientales, sociales y económicas asociadas, consiste en reducir el consumo de energía en los edificios. La sociedad pasa más del 30% de su tiempo en espacios de trabajo, en ambientes climatizados. Es objetivo del trabajo encontrar estrategias de mejora sobre la eficiencia energética del edificio sin disminuir la calidad de vida de los usuarios. Para ello, se lleva a cabo un estudio de campo en el edificio sede de Obras Sanitaria Sociedad del Estado (OSSE), ubicado en la ciudad de San Juan (Argentina), mediante una aproximación experimental, contemplando aspectos funcionales, tecnológicos y referentes al equipamiento del edificio. Los resultados muestran valores de demanda de energía elevados en sistemas de climatización y artefactos de consumo eléctrico en oficinas. La implementación de estrategias de intervención de mínima inversión permitiría reducir el consumo energético en un 42% y recuperar más del 70% de la inversión durante el primer año de funcionamiento.

**Keywords:**

Rational use of energy, electric devices, energy monitoring

**ABSTRACT**

In the last ten years, the increase in installed electricity capacity in consumption sectors has surpassed electricity generation capacity, thereby causing Argentina to become an energy-dependent country. One of the relief measures for the associated environmental, social and economic consequences involves reducing energy consumption in the buildings sector. People spend more than 30% of their time in work spaces, in climate-controlled indoor environments. The aim of this study is to find strategies to improve the energy efficiency of buildings without decreasing quality of life for users. To this end, a field study was carried out in the Obras Sanitarias Sociedad del Estado (OSSE) (State Sanitary Works Company) building, in the city of San Juan, Argentina, using an experimental approach that took into consideration functional and technological aspects of the building as well as its equipment. The results show high energy demand values for the heating and cooling system and the electric devices in offices. The implementation of minimum investment intervention strategies would enable a 42% reduction in energy consumption and the recovery of more than 70% of the total investment during the first year of operation.

## 1 INTRODUCCION

Emplear recursos energéticos de forma racional requiere de anticiparse a su uso y programar una eficiencia energética (EE) desde el origen de los mismos, es decir, desde sus etapas de generación, transformación y transporte, hasta llegar al consumidor de energía final (Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2012).

En el sector edilicio, el uso racional de la energía (URE) se basa en considerar estrategias para el funcionamiento eficiente (control, *building management*), educar al usuario (manual de uso del edificio), reconstruir el servicio de energía y tomar medidas de bajo costo para el ahorro energético (PICT-0014, 2009).

Desde 1850, el empleo de combustibles de origen fósil a nivel mundial se convierte en la fuente de energía base de todas las operaciones de la industria, el transporte y las edificaciones. En los últimos 40 años, variaciones en la capacidad de obtención y precio de combustibles de origen fósil llevan a un cambio de paradigma en las políticas gubernamentales, sobre todo en países dependientes energéticamente.

Se ha recurrido entonces a reforzar la aislación térmica de la envolvente (Deutsches Institut Für Normung, DIN 4108, 1996), promover el uso de la energía solar fotovoltaica e implementar el sistema tarifario *feed-in tariff*. Asimismo, se legaliza el uso de energías renovables (Alemania, Gesetz-EEG, 2000), se establecen demandas de energía objetivo a alcanzar en edificaciones, como los 100kWh/m<sup>2</sup> al año (véase *Programa EnOB*, 2008) y se definen normas (DIN 18599, 2007) y programas sobre la reducción del consumo medio de energía (*Programa 2000W-Society*, 1998), entre otras medidas.

Según la Secretaría de Energía (SE), el 87% de la energía primaria en Argentina proviene de hidrocarburos. Como medida de reducción del consumo energético, el Decreto 140/2007, propone la reducción del 10% del consumo de energía en edificios públicos. Las edificaciones representan alrededor del 40% del uso de energía final y, por ello, constituyen un escenario con potenciales para conseguir importantes reducciones de energía y emisiones. Un edificio con una alta eficiencia energética genera bajo impacto ambiental (Toranzo *et al.*, 2012) y, al mismo tiempo, asegura condiciones interiores óptimas para el desarrollo de las actividades de los usuarios, quienes pasan más del 30% de su tiempo en estos espacios.

El seguimiento del edificio durante la vida útil, en su etapa de post-ocupación, permite corregir errores de funcionamiento de diversa índole (Programa EnBop, 2008), pudiendo corresponderse con el grado de conciencia ambiental del usuario (Lutz, 2003), el acceso del usuario al control del clima interior (ISSO-74) (*Publication 74*, 2004), la adecuada gestión de la energía (Dutt *et al.*, 2006), deficiencias del equipamiento del edificio, garantía de ejecución en tareas de saneamiento (Plesser *et al.*, 2008), evolución del clima exterior para control de climatización, factor de ocupación del edificio (Kuchen, 2013), control de fugas en aberturas (Kuchen *et al.*, 2012 y Toranzo *et al.*, 2012), artefactos de consumo eléctrico en oficinas (Plesser *et al.*, 2008 y Alonso-Frank *et al.*, 2012), entre otros aspectos.

El objetivo de este trabajo es establecer potenciales de eficiencia energética en el edificio sede de Obras Sanitarias Sociedad del Estado (OSSE), en San Juan (Argentina), a fin de reducir el consumo a través de medidas accesibles y de baja inversión y, de tal forma, generar un aporte al URE. Se concluye con una propuesta de intervención para el edificio, definida en términos de viabilidad económica y aplicación en el contexto local, cuya meta es optimizar la EE. Se prevé un ahorro del 42% sobre el consumo habitual y una recuperación de la inversión superior al 70% durante el primer año de uso. La iniciativa pretende servir de aporte al conocimiento de arquitectos e ingenieros dedicados al monitoreo energético de edificios existentes.

## 2 DESARROLLO

En adelante, se describe el abordaje metodológico y se analiza el posicionamiento energético-ambiental en que se encuentra el edificio OSSE. Se analiza el estado de la matriz energética local, se detectan demandas y consumos de energía provenientes del uso inadecuado en OSSE sobre los ítems: climatización, ventilación, iluminación y artefactos de consumo eléctrico (ACE). Se establecen valores de referencia para mejorar la EE y se estima una recuperación de la inversión en el corto plazo.



Fig.1 Fachadas del edificio de OSSE en San Juan, Argentina.

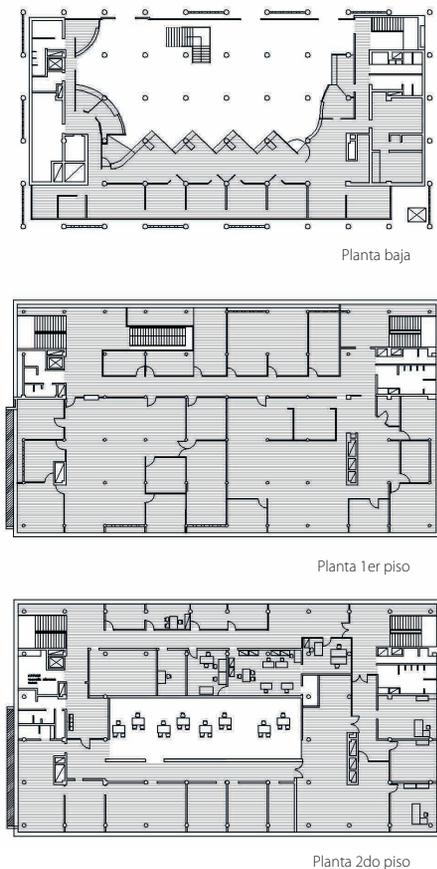


Fig.2 Distribución del sector oficinas por piso en el edificio OSSE.

## 2.1 METODOLOGÍA.

Se lleva a cabo un relevamiento mediante encuesta y mediciones en 25 oficinas en el edificio OSSE. Se relevan tipo y uso del sistema de climatización, iluminación, ventilación y artefactos de consumo eléctrico (ACE) empleados, se comparan los registros de consumo energético anual de los últimos 10 años (Fuente de datos: Ente Provincial Regulator de la Energía, EPRE) y se analiza el edificio en el contexto local, en relación a la potencia instalada de generación en San Juan (Fuente de datos: Energía Provincial Sociedad del Estado, EPSE). Se discrimina la potencia instalada en OSSE por unidad de superficie útil (a climatizar) del sector de estudio, se establece un valor indicador de la demanda de energía anual. Se enumeran tipo, cantidad y potencias de ACE del sector oficinas (monitor, PC, impresora, fax, etc.). Este valor de demanda se compara con el valor de consumo de energía final. La diferencia entre energía demandada, consumida y su tendencia, conduce a elaborar una serie de medidas de EE y pronosticar ahorros potenciales a corto plazo.

## 2.2 OBJETO DE ESTUDIO.

El edificio público en estudio, sede de la administración de Obras Sanitaria, Sociedad del Estado (OSSE), se ubica en la ciudad capital de San Juan, en zona bioambiental III-A de Argentina; posee clima templado cálido seco, temperatura exterior media anual de 17,2°C y humedad relativa media del 53% (Instituto Argentino de Normalización y Certificación, IRAM 11603, 1996). Se destacan en ella la elevada radiación solar, las amplitudes térmicas diarias y estacionales, la predominancia de vientos del sector sudeste y bajas precipitaciones. El edificio se construye entre 1957-1962, tiene tres niveles y una superficie total de 2455 m<sup>2</sup>. Lo caracteriza la flexibilidad propia de la arquitectura del movimiento moderno (ver Figura 1).

El edificio incorpora criterios de diseño bioclimático en la etapa temprana de proyecto, entre los que sobresalen: orientación del eje longitudinal en dirección Este-Oeste para un óptimo asoleamiento, parasoles móviles en fachada Este y Oeste para el control solar estacional (ver Figura 1), fachada Norte, con un 19% de superficie vidriada, y Sur (a modo de courting wall), con un 72%, que aporta buena iluminación y ventilación natural a los espacios de trabajo. Las aberturas de la fachada Norte son mínimas y el muro, con elevada inercia térmica, permite controlar el ingreso solar del período de verano y servir de muro acumulador en invierno y verano. Para cubrir demandas pico de calefacción/refrigeración, está equipado con climatización total por aire (Sistema HVAC). Las superficies de OSSE, que se pueden clasificar en

brutas, netas y útiles (climatizadas), exhiben tres sectores identificables: oficinas (espacios de trabajo y pasillos), que ocupan un 75% de la superficie útil del edificio (ver griseado en Figura 2); servicios, que corresponden a un 11% (sala de máquinas, archivo, baños, ascensores y escaleras), y espacios destinados a otros usos (por ejemplo, sala de reuniones), los que constituyen el 14% restante.

### 2.3 MATRIZ ENERGÉTICA.

A nivel Mercosur, la matriz de abastecimiento energético es altamente dependiente de los combustibles fósiles. Argentina constata, en ese sentido, un 87% de generación de energía a partir de fósiles (ver Figura 3) y se encuentra en una fase de cambio obligada, que exige hacer eficientes los sistemas de interconexión, de transporte y distribución, como también mejorar la potencia instalada de generación y explorar nuevas fuentes de energía renovable y técnicas de extracción de hidrocarburos.

Así como ocurre en países dependientes energéticamente, Argentina hace hincapié en el desarrollo local a partir de promover un uso racional de la energía (URE) y una inversión en energías renovables. La empresa pública ENARSA, Energía Argentina S.A., opera el mercado ampliado de energía en Argentina y tiene el objetivo de diversificar la matriz energética y disminuir la dependencia con hidrocarburos (Secretaría de Energía, 2009).

La Ley 26.190 del año 2006, de normalización y legalización del uso de energías renovables, a través del Programa GenRen (*idem*), propone cubrir el 8% de la demanda de energía mediante el empleo combinado de energía eólica, solar, geotérmica, mareomotriz, biomasa, biogás, cogeneración con residuos sólidos urbanos y pequeños emprendimientos hidroeléctricos.

La provincia de San Juan, Argentina, sus seis zonas climáticas diferentes (IRAM 11603, 1996), predominio de aridez, clima cálido y seco, alta diafanidad del cielo, elevados niveles de radiación solar y 97% de la superficie conformada por montañas, se presenta con potencial suficiente para ser autosuficiente energéticamente. El agua del deshielo se embalsa para abastecer la agricultura del oasis semidesértico y el salto hídrico para la generación de energía. La Tabla 1 resume los valores de tipos de energía, potencia y capacidad de generación de las centrales de generación en la provincia. Según DIES, Departamento de Información Económica y Social, el consumo de energía en San Juan crece año a año. En el período 2011, se registra un consumo de 1830

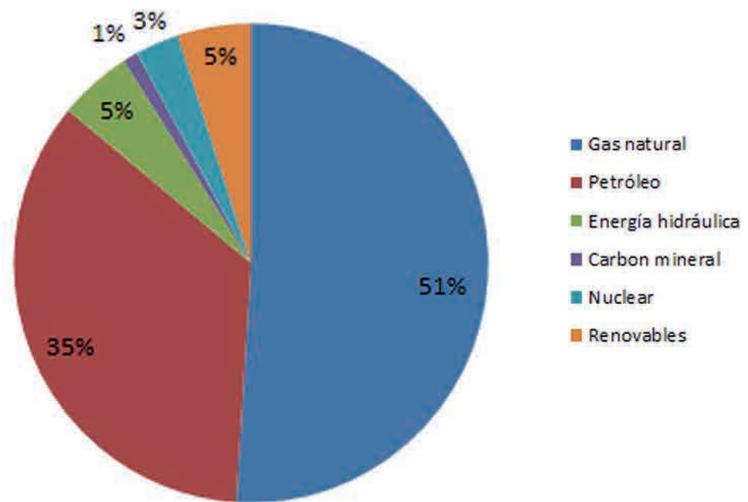


Fig.3 Matriz energética de Argentina 2010.  
 Fuente: Secretaría de Energía. Balance energético nacional

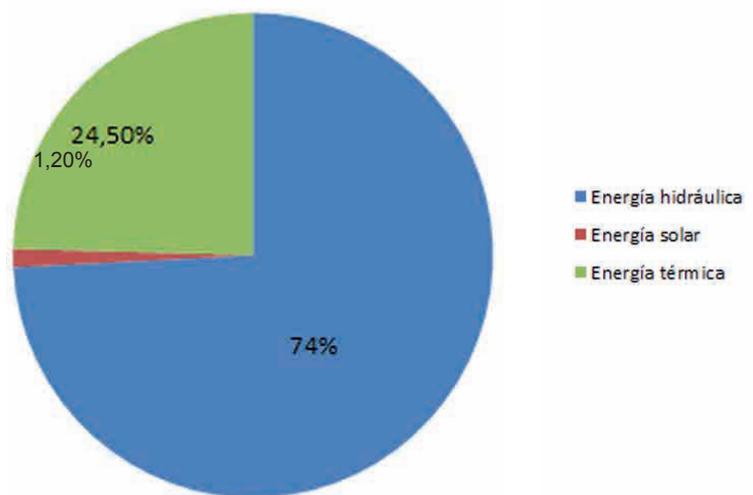
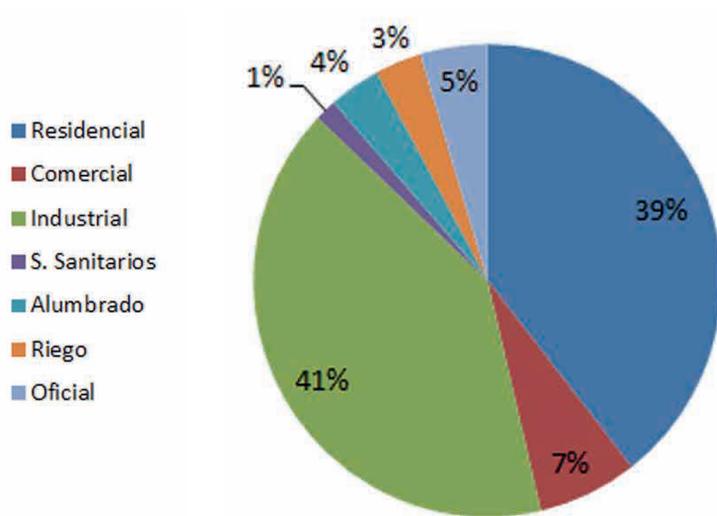


Fig.4 Generación de energía eléctrica por recurso 2012 San Juan. Fuente: Energía Provincial Sociedad del Estado (EPSE).

Tipo Energía	Central	Potencia [MW]	Capacidad [GWh/a]
	Ullum I-II	45	235
	Quebrada U.	47	172
	Cuesta Viento	11	28
	Tambolar	en ejecución - Pot. nom. 70MW	
	Punta negra	en ejecución - Pot. nom. 62MW	
	Horcajo	en proyecto - Pot. nom. 26MW	
Solar	Solar SanJuan	1	11
	Cañada Onda I y II.	7	8
Termica	Sarmiento	30	372
		264	1541

**Tabla.1** Centrales de generación de energía en la provincia de San Juan. Fuente: EPSE.



**Fig.5** Consumo de energía eléctrica por sectores en San Juan. Fuente: Departamento de Información Económica y Social (DIES).

GWh/a. Respecto de este valor, la potencia instalada de generación de energía asciende a 1541 GWh/a (ver Tabla 1), con lo cual sería posible cubrir el 84% de la demanda total en condiciones óptimas. Así es como del total de energía consumida en la provincia, solo el 16% debe ser comprado en el mercado eléctrico externo nacional e internacional.

Del 84% de energía generada en la provincia, se prevé cubrir el 74,3% con centrales hidroeléctricas, el 24,5% con centrales térmicas y el 1,2% con tecnología fotovoltaica (Figura 4). Según se expone en Tabla 1, de ponerse en funcionamiento las centrales Tambolar, Punta Negra y Horcajo (hidroeléctricas) y Cañada Onda (solar), sería posible cubrir la totalidad de la demanda energética local y disponer de un 25% en reserva. Estos aspectos motivan la idea de que un incremento de EE en los sectores de consumo, junto al plan estratégico de generación con renovables, conduciría al autoabastecimiento energético provincial y al mejoramiento de la sustentabilidad local.

### 3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A fin de evaluar la situación energética del edificio OSSE y proponer eventuales mejoras al uso de la energía, se evalúan datos del consumo/demanda de energía, potencia instalada y artefactos de consumo eléctrico, en relación a espacios de trabajo dentro del edificio

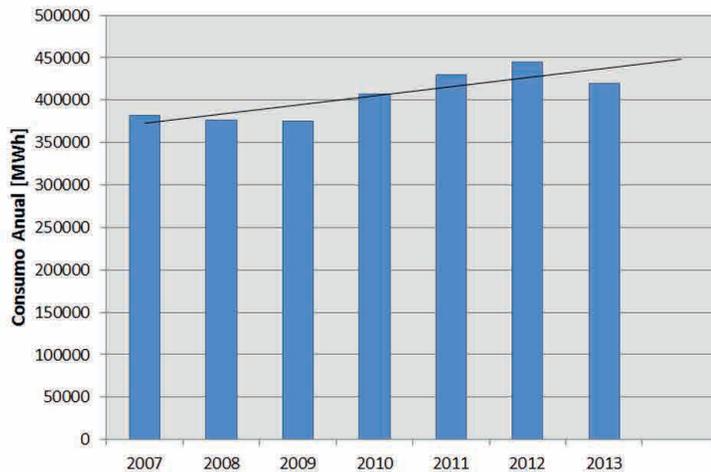


Fig.6 Evolución del consumo de energía en el edificio OSSE. 2007-2013. Fuente: EPSE.

### 3.1 CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Según la distribución del consumo energético anual porcentual (ver Figura 5), el edificio OSSE se sitúa dentro del sector oficial, el cual, en conjunto con el sector residencial (39%) y comercial (7%) componen el sector de consumo en que participan las construcciones edilicias, abarcando el 51% del consumo eléctrico local.

La Figura 6 muestra un incremento paulatino del consumo de energía en el edificio público OSSE desde 2007 hasta 2012. A fines de 2012, se reduce el uso del sistema de refrigeración central para emplearse exclusivamente dentro del horario de trabajo y se incorporan artefactos descentralizados por sectores, del tipo *split*, reduciendo la demanda de uso del equipo central.

### 3.2 POTENCIA INSTALADA EN OSSE.

Del relevamiento de la potencia instalada en el edificio OSSE, la Figura 7 muestra los ítems que demandan la mayor parte de la energía. Como se observa, ni el equipo de refrigeración (23,6%) ni el de calefacción (7,5%) llegan a ser representativos respecto a la potencia instalada en artefactos de consumo eléctrico (ACE), que supera el 55%.

### 3.3 ARTEFACTOS DE CONSUMO ELÉCTRICO (ACE).

La Figura 8 expone el tipo y cantidad porcentual de ACE relevados en 25 oficinas del edificio OSE. Se estima que una oficina promedio posee mayormente PCs, monitores LCD e impresoras láser. La demanda energética porcentual de ACE se puede ver en la Figura 9, donde el artefacto "PC" constituye el ACE de mayor consumo (>75%).

El artefacto "estufa" se considera un adicional incorporado por los usuarios, el que, al ascender a casi al 12% de la demanda, llega a ser representativo respecto del resto, sobre todo cuando se supone que el sistema central HVAC del edificio debería cubrir la demanda térmica de los usuarios del sector oficinas. La necesidad de reducir el consumo energético lleva a tomar medidas de ahorro y EE.

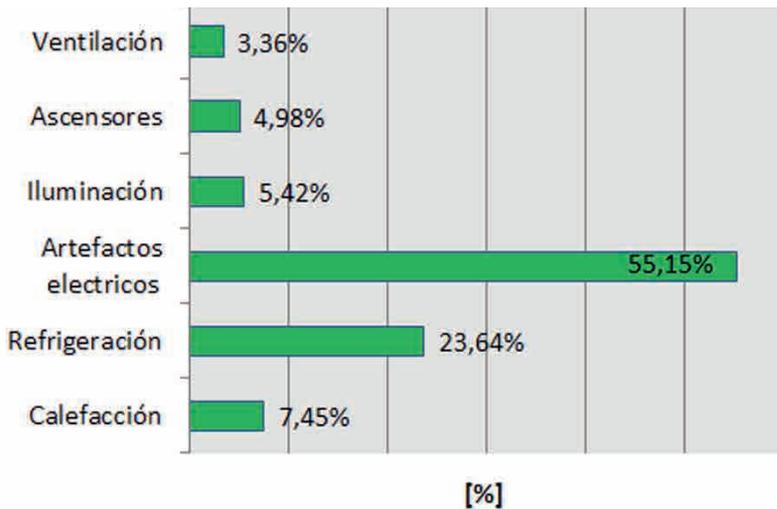


Fig.7 Consumo porcentual de energía final en OSSE.

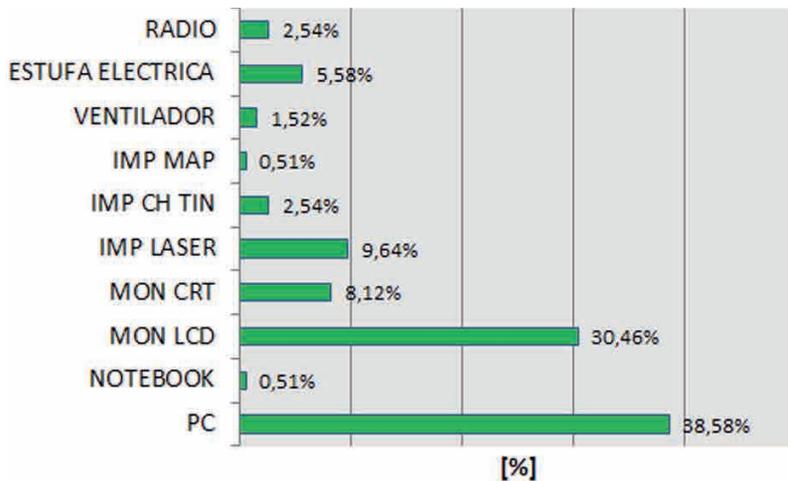


Fig.8 Cantidad porcentual de artefactos consumo eléctrico

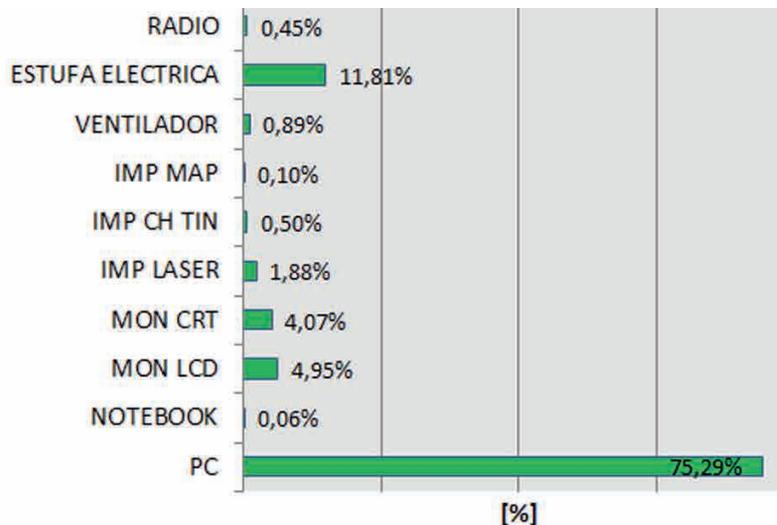


Fig.9 Demanda porcentual de energía de ACE en oficina

### 3.4 POTENCIALES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.

La Figura 8 expone el tipo y cantidad porcentual de ACE relevados en 25 oficinas del edificio OSE. Se estima que una oficina promedio posee mayormente PCs, monitores LCD e impresoras láser. La demanda energética porcentual de ACE se puede ver en la Figura 9, donde el artefacto "PC" constituye el ACE de mayor consumo (>75%).

El artefacto "estufa" se considera un adicional incorporado por los usuarios, el que, al ascender a casi al 12% de la demanda, llega a ser representativo respecto del resto, sobre todo cuando se supone que el sistema central HVAC del edificio debería cubrir la demanda térmica de los usuarios del sector oficinas. La necesidad de reducir el consumo energético lleva a tomar medidas de ahorro y EE.

### 3.5 POTENCIALES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.

El valor promedio de consumo que alcanza el edificio OSSE de 171 kWh/m<sup>2</sup>.a en el sector oficinas es un 43% más eficiente respecto de la media nacional, que asciende a 300 kWh/m<sup>2</sup>.a. Esta ventaja se debe a las consideraciones del potencial bioclimático local, en las etapas de diseño, y a consideraciones de URE, en la etapa de funcionamiento. Aún así, se observan indicios de posibles optimizaciones.

De este modo, la propuesta de mejoras incluye aspectos que implican desde mínimos a grandes costos de inversión y que puedan implementarse durante la vida útil del edificio. Aquellas medidas que tienen costo cero y que conducen a importantes ahorros iniciales de energía son:

**Educación del usuario** a través de un "Manual de uso del espacio de oficina", cuyo potencial esperado corresponde a un 8% de ahorro en los ítems "ventilación" y "climatización".

**Control del set-point** de temperatura en equipos de climatización, considerando la variabilidad del clima exterior, con lo cual se espera ahorrar hasta un 30% en los ítems "calefacción" y "refrigeración".

**Eliminación de estufas eléctricas**, cuyo potencial esperado constituye un 50% de ahorro en el ítem "calefacción".

Otras medidas adicionales de eficiencia energética

involucran inversiones de bajo costo que conducen a mejorar aún más el funcionamiento eficiente del edificio. Entre ellas, se destacan:

**Reprogramación y control del equipamiento "PC"** bajo el "modo eficiente", con lo que se espera ahorrar un 40% en el ítem "PC".

**Control en las fugas** en aberturas mediante burletes y cella juntas, cuyo potencial esperado de ahorro corresponde a un 20% en los ítems "calefacción" y "refrigeración".

**Control de iluminación** mediante sensores de movimiento; medida que proyecta ahorrar un 30% en el ítem "iluminación".

De aplicarse los potenciales enunciados, se alcanzaría una importante reducción del consumo de energía en OSSE. La Figura 10 muestra la diferencia proyectada entre la demanda actual y la demanda prevista, la cual representaría una disminución de casi el 50% en ACE.

La Figura 11, por su parte, expone la relación entre la demanda real y consumo medido desde 2008 hasta 2014, la demanda programada con potenciales EE y consumo previsto para 2015, y la curva del costo energético real hasta el año 2015. Así, se busca lograr una disminución del consumo energético sin llegar a manipular la disponibilidad del equipamiento, considerando estrategias para el uso racional de la energía y de educación del usuario, quien requiere de acomodarse a los respectivos cambios en su modo de vida.

En la misma Figura, se estima un incremento de la eficiencia energética de un 42% sobre el consumo promedio anual del edificio, pasando de 171 kWh/m<sup>2</sup>.a, a una demanda energética estimada de 100 kWh/m<sup>2</sup>.a. Con este valor, OSSE se posiciona como referente, alcanzando la demanda objetivo de estándares internacionales (EnOB, 2008).

En relación al precio de la energía, que hoy se ubica en \$0,11/kWh, el costo del consumo de energía anual en 2013 asciende a \$36.364,00 pesos argentinos (ver Figura 12). La inversión en mejoras para EE en el OSSE, para 2014, asciende a un costo de \$20.250,00 (USD 2.382,35). Si se aplicaran todas las estrategias de EE, sería posible reducir el consumo de energía en un 42%, recuperar más de 70% de la inversión en 2015 y el 30% restante en 2016, percibiendo un ahorro, sobre el costo de energía actual, de casi el 30% en 2016 y del 42% en 2017. Este valor supera las expectativas objetivos propuestas por el estado nacional de reducir el uso energético del 10% en edificios

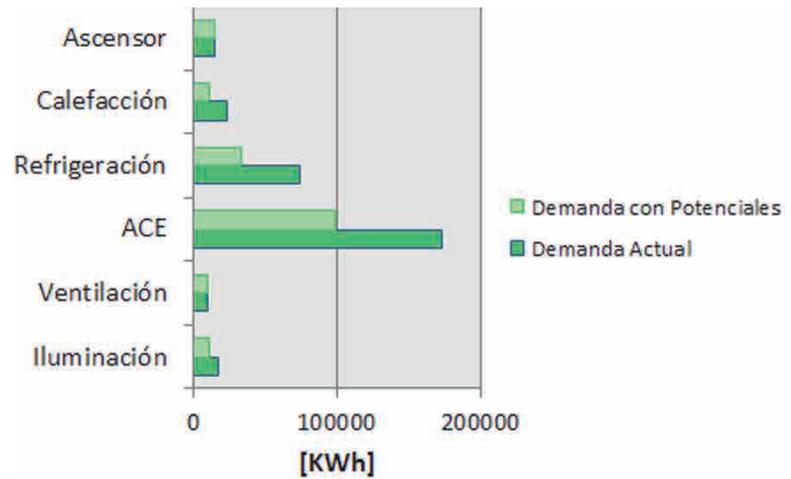


Fig.10 Comparación entre demanda eléctrica actual y demanda con potenciales de eficiencia energética aplicados en espacio de oficinas.

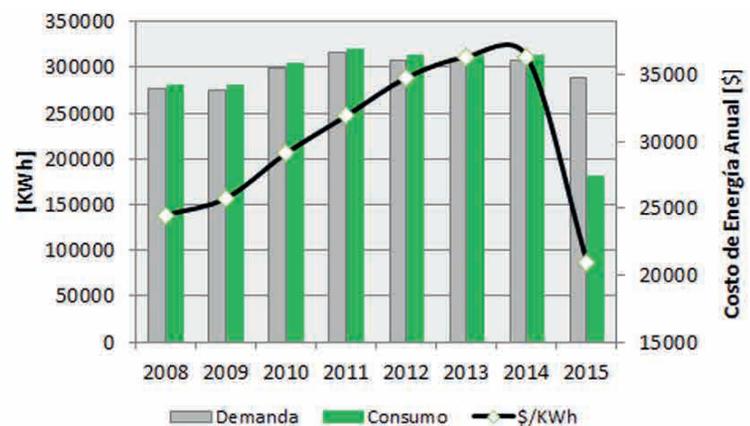


Fig.11 Comparación entre demanda energética, consumo energético con potenciales de EE aplicados y curva de costo económico en consumo energético en OSSE.

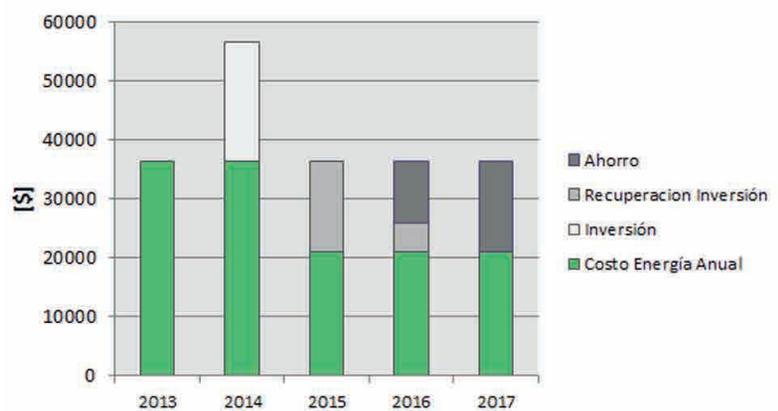


Fig.12 Secuencia progresiva del plan de inversión, recuperación y ahorro de la energía en el corto plazo.

## 4 CONCLUSIONES

Alcanzar mejoras en la eficiencia energética del edificio en torno al 42%, con recuperación del 70% de la inversión en el primer año, como se pretende alcanzar en OSSE, no tiene precedentes en tareas de eficiencia energética en edificios públicos en la provincia de San Juan. Además, de considerarse estrategias bioclimáticas en la etapa de diseño, es posible asegurar más del 40% de ahorro energético, respecto de edificios convencionales. El mal empleo de la energía por parte de los usuarios requiere de un seguimiento durante la vida útil del edificio. En la provincia de San Juan los edificios públicos se ubican en el cuarto lugar entre los sectores consumidores de energía eléctrica. De aplicar los potenciales previstos en OSSE, en las demás edificaciones del sector oficial, residencial y comercial, se alcanzaría un reajuste a futuro del 21% del consumo total de energía eléctrica en San Juan.

Un incremento de eficiencia en el funcionamiento del edificio disminuye el consumo de recursos y emisiones, y permite destinar fondos para cubrir inversiones en nuevas mejoras de eficiencia, adecuar el uso de recursos energéticos a fin de alcanzar autoabastecimiento energético y, eventualmente, minimizar la compra de energía fuera de la provincia. A ello se suma la futura demanda de energía que se corresponde con el crecimiento poblacional. La planificación de nuevas centrales de generación de energía (hidroeléctrica y solar), permitirán dar respuesta a dichas necesidades locales.

La corrección de errores y la elaboración de un plan de mejoras del funcionamiento del edificio durante su vida útil, debe constituirse en la forma en que se adecúen las edificaciones a las necesidades energéticas actuales. Se observa en OSSE que soluciones menos costosas son más convenientes, ya que conducen a ahorros inmediatos. Soluciones superiores en inversión deben considerarse una vez evaluada su viabilidad económica en el tiempo, con períodos de beneficios y retornos de inversión a corto y mediano plazo.

La incorporación de nuevo equipamiento para cubrir demandas térmico-energéticas en climatización ventilación, así como la actualización de artefactos de consumo eléctrico en oficinas deberá considerar el estado de la técnica en materia de eficiencia energética, a fin de incluir tecnología adecuada al funcionamiento eficiente del edificio.

La eficiencia energética en edificios públicos y la concientización del usuario mediante un manual de eso

del espacio de trabajo, además de conducir a mejoras ambientales y económicas, constituyen los pasos esenciales en el proceso de concientización de una sociedad en formación.

## BIBLIOGRAFIA

ALEMANIA. *Erneuerbare Energien Gesetz-EEG*, 29 de marzo de 2000, BGBl.

ALONSO-FRANK, Alción; KUCHEN, Ernesto y TORANZO, Eugenia. Diagnóstico de calidad del aire en espacios de trabajo en el edificio central de la universidad nacional de San Juan, Argentina. *Revista AVERMA, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* (INENCO, Salta, Argentina), 2012, vol. 16, n° 1, pp. 65-72.

Departamento de Información Económica y Social (DIES). *Consumo de Electricidad* [en línea]. [Consultado 26 agosto 2014]. Disponible en <http://dies.chaco.gov.ar>

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN). *Wärmeschutz im Hochbau*, DIN 4108. Berlin: Beuth, 1996.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN). *Energetische Bewertung von Gebäuden. Berechnung des Nutzen, und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung*, DIN V 18599. Berlin, Beuth, 2007.

DUTT, Gautam S.; TANIDES, Carlos G.; GONZÁLEZ, D. Enrique.; EVANS, John M.; DE SCHILLER, Silvia. e IGLESIAS-FURFANO, Hernán *Escenarios energéticos para la Argentina (2006-2020) con políticas de eficiencia*. Buenos Aires: Fundación Vida Silvestre Argentina, 2006.

Empresa de Servicio de Suministro de la Electricidad en San Juan (EPSE). *Generación de Energía Eléctrica por Recursos* [en línea]. [Consultado 10 febrero 2015]. Disponible en: <http://www.energiasanjuan.com.ar>.

Ente Provincial Provincial Regulador de la Energía (EPRE). *Consumo Energético Anual* [en línea]. [Consultado 15 enero 2014]. Disponible en: <http://www.epresj.gov.ar>.

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (IRAM). *Acondicionamiento Térmico de Edificios. Clasificación Bioambiental de la República Argentina*. IRAM 11603:1996. Buenos Aires: Instituto Argentino de Normalización, ICS 91.120.10., CNA 5640, 1996.

KUCHEN, Ernesto; PLESSER, Stefan y FISCH, M. Norbert Eficiencia energética y confort en edificios de oficina. El caso alemán. *Revista Hábitat Sustentable*, 2012, vol. 2, n°2, pp. 34-44.

KUCHEN, Ernesto. Ventilación de espacios de trabajo en edificios de oficina y su influencia sobre la eficiencia energética. *Revista Hábitat Sustentable*, 2013, vol. 3, n°2, pp. 55-65.

LUTZ, Wolfgang. *Programa de Ahorro y Eficiencia Energética en el Mercado Eléctrico Argentino. Identificación de las Características, Lineamientos Generales y Opciones para una Propuesta PAyEE*. Argentina: Secretaría de Energía de la Nación y GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit), 2003.

MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA. *Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE)*, Argentina. MINCYT, 2012.

PICT-0014. Proyecto de Investigación Científica y Tecnológica. *Eficiencia Energética y Confort en Espacios de Trabajo*. Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Nación. Agencia Nacional de Promoción Científica. Resolución 304/10, 2009.

PLESSER, Stefan; KUCHEN, Ernesto; FISCH, M. Norbert. *The New House of the Region of Hannover: Using EPBD-strategies to improve energy efficiency in the building lifecycle*. Proceedings of the 5th International Conference on Improving Energy Efficiency in Commercial Buildings: IE ECB Focus 2008. Editorial: Paolo BERTOLDI, Bogdan ATANASIU. Frankfurt am Main, Germany 2008.

2000Watt-Society [en línea]. Zürich: Swiss Federal Institute of Technology. *Programa Ahorro Energético*, 1998. [Consultado 20 de febrero de 2014] Disponible en: <<https://www.stadt-zuerich.ch>>

Energie Optimeirtes Bauen, EnOB. *Programa Construcción Energéticamente Optimizada* [en línea]. [Consultado 5 julio 2014]. Disponible en <http://www.enob.info>

Energie Betriebsoptimierung, EnBop. *Programa Optimización Funcionamiento Energético de Edificios* [en línea]. [Consultado 10 junio 2014]. Disponible en: <http://www.enob.info>.

*Publication 74*. Thermische Behaaglijkheid. Eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen ISSO-74. Rotterdam, Holland. 2004.

SECRETARÍA DE ENERGÍA. *Programa GenRen. ENARSA, Energía Argentina S.A. "Programa Generación Renovable"*. Argentina: Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, 2009.

TORANZO, Eugenia; KUCHEN, Ernesto y ALONSO-FRANK, Alción. Potenciales de eficiencia y confort para un mejor funcionamiento del edificio central de la universidad nacional de San Juan. *Revista AVERMA, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* (INENCO, Salta, Argentina), 2012, vol. 16, n° 1, pp. 157-164.

Artículo  
Recibido 23-09-2014  
Aceptado 28-10-2014

# Evaluación de mejoramiento de muros mediante simulación energética y análisis de LCC para viviendas de construcción frecuente en Chile

Evaluation of wall retrofits in frequently-built housing in Chile using energy simulation and life cycle cost analysis

JORGE MUÑOZ FIERRO, Universidad del Bío Bío,  
Concepción, Chile \  
Jommunoz@gmail.com

JAIME SOTO MUÑOZ, Universidad del Bío Bío,  
Concepción, Chile \  
jsotom@ubiobio.cl

## Palabras clave:

Mejoramientos de muros, eficiencia energética, viviendas albañilería y madera, análisis de costos de ciclo de vida (LCCA).

## Keywords:

wall retrofits, energy efficiency, timber and masonry housing, life cycle cost analysis (LCCA)

## RESUMEN

El elevado consumo de energía a nivel residencial, provocado en parte por la escasa preocupación que existía hasta hace unos años por generar viviendas eficientes, es hoy en día un asunto cada vez más importante. El presente estudio recoge dicho problema, a través de una evaluación enfocada a determinar las ventajas que tiene la ubicación de la aislación térmica en los muros de una vivienda, para lograr una reducción de los costos en calefacción. Con ese fin, se realiza una selección de sistemas de mejoramiento aplicables a tres casos de estudio. En ellos, se caracterizan los aspectos más relevantes, siendo posteriormente simulados para un análisis de demanda y transmitancia térmica. Además, las soluciones se evalúan bajo el supuesto de ser aplicables a una alternativa existente en la actualidad, es decir, la asignación de un subsidio de mejoramiento, disponible en Chile. Las mismas ventajas son medidas a través de técnicas de análisis económico para sistemas constructivos, basadas en la metodología ASTM, cuyo objetivo es verificar si la mayor inversión inicial en un determinado sistema, se compensa o no por medio de la disminución de los costos futuros, identificando asimismo los aspectos más determinantes en ese proceso.

## ABSTRACT

High residential energy consumption caused in part by lack of concern up until recently about the construction of efficient housing is an increasingly important issue nowadays. This study addresses the aforementioned problem by evaluating the advantages of the location of thermal insulation in housing walls, in order to reduce heating costs. To this end, retrofit systems were selected for three case studies, in which the most relevant aspects were characterized and subsequently simulated to carry out analyses of demand and thermal transmittance. Furthermore, solutions were evaluated under the assumption that they could be implemented using one of the currently existing alternatives, i.e. through housing improvement subsidies available in Chile. The benefits were measured using economic analysis techniques for building systems based on ASTM methodology. This evaluation was performed in order to verify whether a higher initial investment in a given system is compensated by the reduction of future costs, in this way identifying the most influential factors in this process.

## 1 INTRODUCCION

Uno de los principales problemas que sufren actualmente las viviendas del país es la eficiencia de los sistemas de calefacción en invierno y de enfriamiento en verano, debido al considerable gasto asociado a estos por parte de la población. Del consumo total de energía en una vivienda, en promedio, el 56% se destina solamente a calefacción (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2010). Además, estudios muestran que mantener una vivienda que pueda aislar correctamente el frío y el calor constituye un aspecto importante para la población (IPSOS, 2012). En la actualidad, la reglamentación térmica permite mejorar las condiciones de viviendas nuevas, por medio de la exigencia de un estándar base, pero se estima que alrededor de un 86% de las viviendas se construyeron antes de su puesta en marcha (CDT, 2010). De lo anterior, se desprende que existe una cantidad de viviendas importante en el país que no cuenta con las condiciones mínimas establecidas.

Este alto porcentaje de casos sin óptimo desempeño energético ha impulsado políticas por parte del Estado de Chile, que ha dispuesto subsidios de mejoramiento para viviendas, en particular para sectores de ingresos medios y bajos de la población. Estos recursos se orientan tanto a dar cumplimiento a la reglamentación, como a disminuir la demanda de energía y proteger el presupuesto de los hogares del país. Para ello, se estableció el D.S. N° 255 (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2010), el cual se encarga de reglamentar el Programa de Protección del Patrimonio Familiar y aborda las distintas alternativas y requisitos que deben cumplirse para que las familias puedan hacerse acreedoras de los subsidios. Por lo demás, existen diferentes clases de subsidios dentro del D.S. N°255, siendo el Título II el que aborda mejoramientos a viviendas existentes. Dentro de éste, pueden mencionarse proyectos relacionados con seguridad, habitabilidad, mantención de la vivienda y obras en innovaciones de eficiencia energética. Actualmente, también se considera para la mejora de las viviendas, el Título I de dicho decreto, asociado a equipamiento comunitario y mejoramiento del entorno, ya que en casos de mejoramiento exterior de edificaciones colectivas se logra el mismo propósito de la indicación.

Ahora bien, los planes de mejoramiento de viviendas implementados no han resuelto con claridad qué tan efectivos son desde el punto de la inversión y de los ahorros que generan para el ciclo de vida. Como tampoco si el monto entregado por parte del subsidio estatal es suficiente para realizar mejoras significativas a la envolvente de muros, o hasta dónde es posible recuperar la inversión realizada. Dentro de las alternativas para mejorar la resistencia térmica de la envolvente de

muros, no se ha evidenciado las ventajas o desventajas de acuerdo a su ubicación: interior o exterior de la edificación. En relación a los costos, sistemas aplicados por el exterior son asociados a mayores inversiones iniciales, no obstante, permiten también lograr un mejor comportamiento térmico, por lo que debe realizarse un estudio acucioso de ellos (Kolaitis *et al.*, 2013). Esto ocurre ya que la incorporación de masa térmica a un edificio permite mejorar el confort de los ocupantes, reduciendo la exigencia de los sistemas mecánicos (Andjelković *et al.*, 2012). Respecto a las medidas que conducen al ahorro energético, algunos autores manifiestan la importancia de las características de ocupación sobre la energía utilizada, señalando como parámetros más influyentes las características térmicas del edificio, el tipo de construcción, el comportamiento del ocupante y el clima (Guerra Santin, Itard y Visscher, 2009).

Por otra parte, la reglamentación térmica nacional no incorpora variables referentes al diseño eficiente de los sistemas constructivos, como es en este caso el concepto de la inercia térmica (Pavez, 2013). Ello hace necesario estudiar en detalle los efectos dados por situar el mejoramiento en el interior o exterior de la envolvente de muros, para determinar su conveniencia, según sea el caso.

## 2 DESARROLLO

El estudio considera como alcance el análisis de viviendas de la provincia de Concepción, Chile, que tienen una tipología frecuente de construcción. Además, tiene en cuenta la caracterización de aquellas edificaciones residenciales unifamiliares que cumplen con los requisitos establecidos en la disposición pública antes mencionada, D.S. N° 255 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU, 2010), específicamente en el Título II sobre proyectos de mejoramiento para viviendas y cuyas comunas se encuentran en el tramo 2. Es decir, viviendas cuyo valor de tasación fiscal no supera los USD 26.650 y cuyas familias no posean más de 13.484 puntos en la ficha de caracterización social. La definición de dicho tramo se realiza para configurar los supuestos del análisis económico, utilizándose como punto de comparación el monto máximo del subsidio entregado para el mismo. Por lo demás, las comunas que conforman dicho tramo, pertenecen a la misma zona térmica, y deben cumplir los mismos requisitos de transmitancia para sus elementos de la envolvente.

Requisitos	Fundamentos
Unidad de funcionamiento complejo	Cada vivienda posee factores diversos como: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Confort térmico</li> <li>- Condiciones de uso</li> <li>- Tipo de ocupantes</li> <li>- Tipo de calefacción existente</li> </ul>
Contexto natural y multitud de métodos	Se estudia los casos analizando factores como: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumo energético</li> <li>- Tipología constructiva</li> <li>- Entorno geográfico</li> <li>- Horarios de ocupación y calefacción</li> </ul>
Contemporáneo	Se consideran aspectos actuales como: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Viviendas en uso</li> <li>- Programas de mejoramientos</li> <li>- Costos de mejoramientos</li> </ul>

**Tabla.1** Fundamentos casos de estudio.

### 3 SELECCIÓN DE CASOS

Para la ejecución de la investigación se seleccionaron casos, bajo los criterios planteados por Johansson (2003), es decir, cada vivienda se caracterizó como una unidad de funcionamiento complejo, considerando su contexto natural en la realidad actual y contemporánea (ver Tabla 1). Para el desarrollo se realizó un estudio inicial de 50 viviendas seleccionadas intencionalmente, revisando la caracterización general de las viviendas, hábitos y consumos de energía. Posteriormente y de la misma forma, se seleccionó tres casos como objetos de estudio, los cuales cumplen con los requisitos necesarios para postular a los subsidios estatales, dentro de los cuales el principal consiste en que las viviendas no excedan un monto indicado de acuerdo a la tasación fiscal del inmueble (información corroborada a partir de registros del Servicio de Impuestos Internos (SII) del país).

Es posible señalar, tal como lo indica el D.S. N°255 artículo 6 bis, que los casos cuyos proyectos se encuentran con certificado de recepción municipal anterior al 4 de enero de 2007 y que consideran un acondicionamiento térmico para cumplir con lo establecido en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, pueden duplicar el monto total del subsidio en caso de requerirlo. Lo anterior se aplica para las viviendas de los casos 1 y 2; en tanto que el caso 3 sólo se evalúa en torno al monto base del beneficio estatal disponible.

La selección de viviendas se realiza de acuerdo a su materialidad, considerando que ciertos estudios identifican a la albañilería (48,8%) y la tabiquería de madera (26,5%) como las principales fuentes de edificación (CDT, 2010). Para ello se caracterizan las viviendas, distinguen tipologías constructivas, antecedentes generales de construcción y sistemas de calefacción presentes (ver tabla 2). Además, se modela cada vivienda, después de un levantamiento de datos en terreno y especificaciones de planos (imagen 1, 2 y 3).

Requisitos		Fundamentos	
Comuna	San Pedro de la Paz	Talcahuano	Tomé
Sector	Villa San Pedro	Pobl. Libertad	Dichato
Tipo de vivienda	Pareada	Pareada	Pareada
Año de construcción	1989	1983	2011
Última rehabilitación importante	2006	2003	-
Superficie	127,3 m <sup>2</sup>	59,71 m <sup>2</sup>	51,24 m <sup>2</sup>
Materialidad muros nivel 1	Albañilería	Albañilería	Albañilería
Materialidad muros nivel 2	Tabiq. madera	-	Tabiq. madera
Materialidad muros nivel 3	Tabiq. madera	-	-
Habitantes regulares	4	5	3
Meses de uso calefacción	5	12	5
Sistemas de calefacción utilizados	Estufa a leña Estufa a gas Calefactor eléctrico	Estufa a leña Estufa a gas -	- Estufa a gas -

Tabla.2 Presentación casos de estudio.

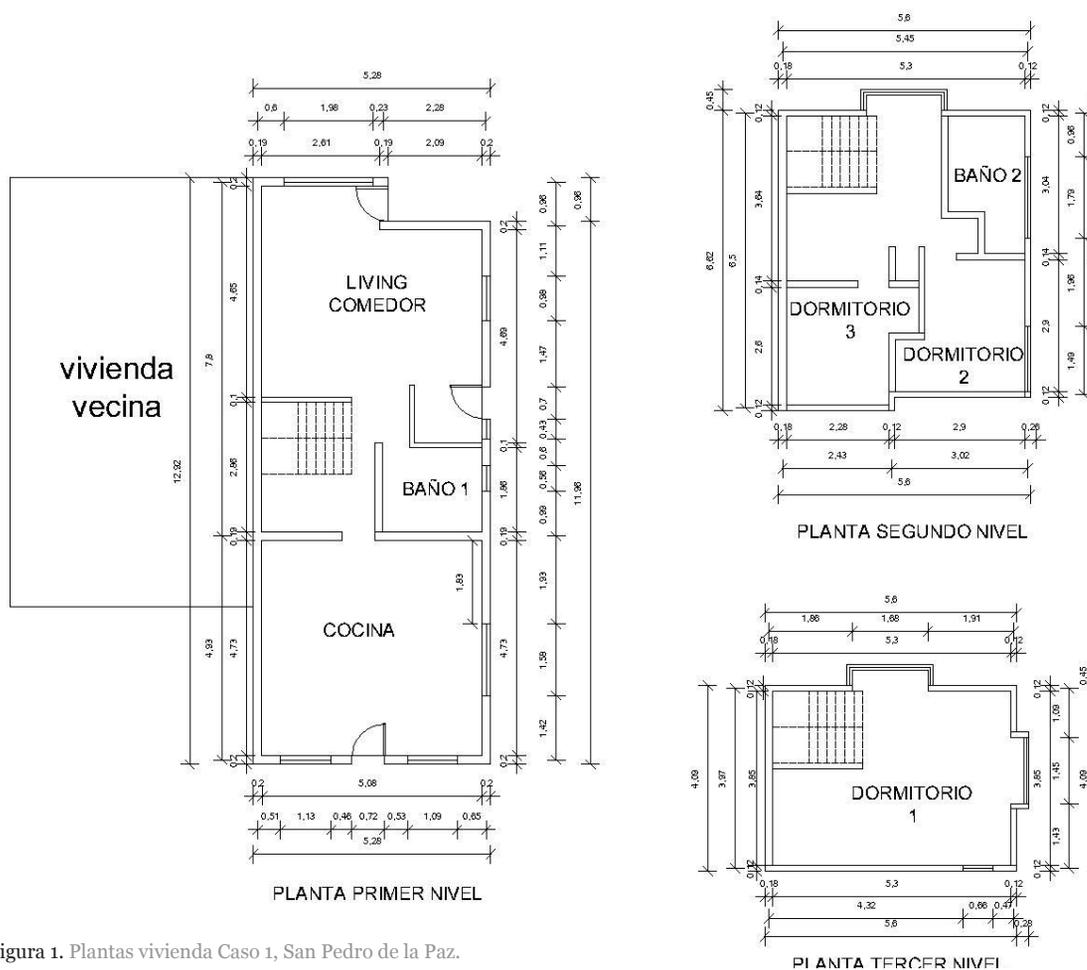


Figura 1. Plantas vivienda Caso 1, San Pedro de la Paz.

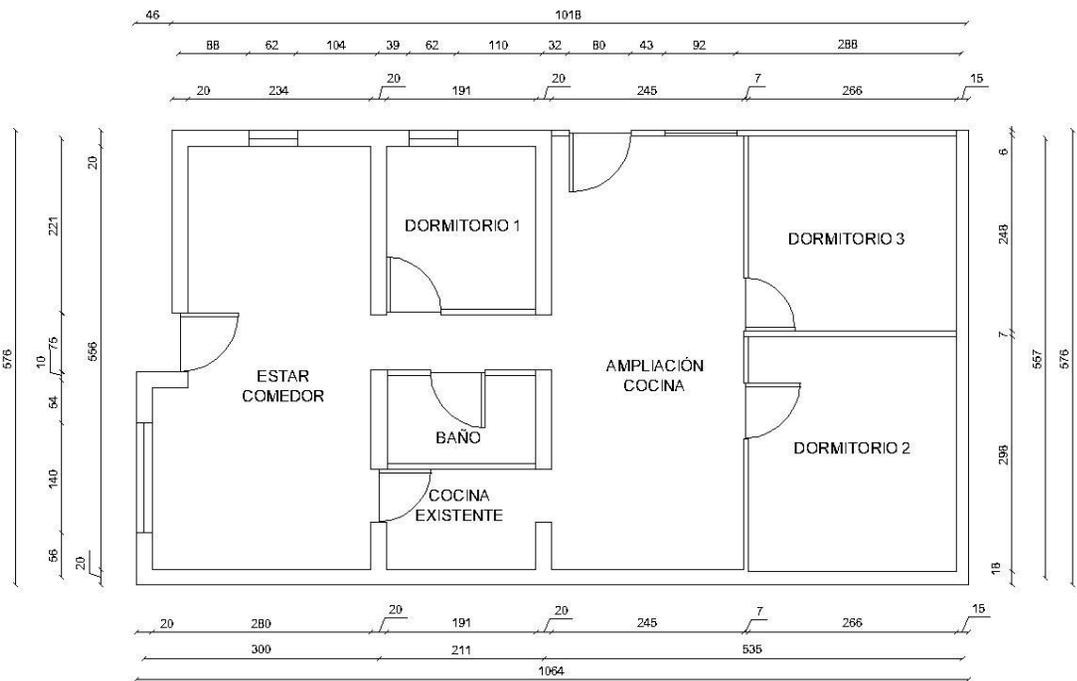


Figura 2. Plantas vivienda Caso 2, Talcahuano.

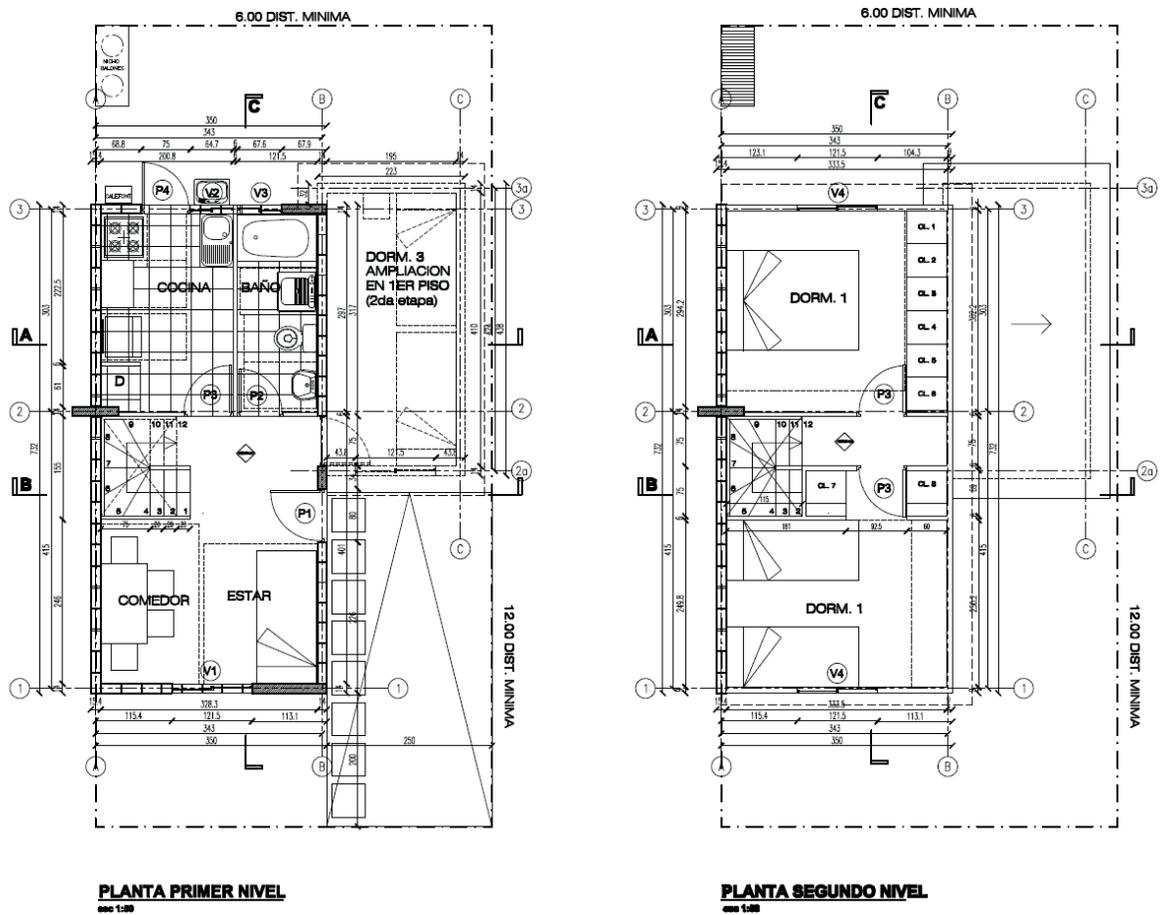


Figura 3. Plantas vivienda Caso 3, Dichato.

### 3.1 CASO 1

Esta edificación da cuenta de un proceso de autoconstrucción no regularizado ante los organismos pertinentes. La situación se repite dentro de los 50 casos iniciales, por lo que se considera valioso incluirla dentro del análisis particular. La vivienda en cuestión se caracteriza por poseer un régimen de calefacción durante los meses de abril a agosto, en los cuales existe ocupación permanente (ver Tabla 3) y la calefacción se mantiene encendida regularmente en el horario comprendido desde las 9:00 hasta las 22:00 horas, para los sectores del primer piso. En lo que respecta a dormitorios en el segundo nivel, los habitantes disponen de una calefacción adicional solamente alrededor de una hora antes de proceder a dormir (ver Tabla 4).



Figura 4. Vivienda Caso 1

		N° de personas por hora en cada recinto											
RECINTO	DÍAS	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00	02:00	04:00
		a 07:59	a 09:59	a 11:59	a 13:59	a 15:59	a 17:59	a 19:59	a 21:59	a 23:59	a 01:59	a 03:59	a 05:59
LIVING COMEDOR	L. a V.		1	1	1				2	2			
	Sábado			2	2	2	2		2	2			
	Dom. o Festivo												
COCINA	L. a V.	2			2			4	4				
	Sábado		3	3	3			4	4				
	Dom. o Festivo		3		1			1		3			
BAÑO 1	L. a V.												
	Sábado		1	1						1			
	Dom. o Festivo		1						1	1			
BAÑO 2	L. a V.	1							1				
	Sábado								1				
	Dom. o Festivo												
DORM. 1	L. a V.	1							2	2	2	2	2
	Sábado	2	1						2	2	2		2
	Dom. o Festivo	2								2	2	2	2
DORM. 2	L. a V.	1							1	1	1	1	1
	Sábado	1	1						1	1	1	1	1
	Dom. o Festivo	1								1	1	1	1
DORMI. 3	L. a V.	1	1	1						1	1	1	
	Sábado	1	1	1						1	1	1	1
	Dom. o Festivo	1	1	1						1	1	1	1

Tabla.3 Horario de ocupación Caso 1

		<b>Nº1 indica uso de calefacción en recinto</b>											
RECINTO	DÍAS	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00	02:00	04:00
		a 07:59	a 09:59	a 11:59	a 13:59	a 15:59	a 17:59	a 19:59	a 21:59	a 23:59	a 01:59	a 03:59	a 05:59
LIVING COMEDOR	L. a V.		1	1	1	1	1	1	1				
	Sábado		1	1	1	1	1	1	1				
	Dom. o Festivo		1	1	1	1	1	1	1				
COCINA	L. a V.	1	1	1	1	1	1	1	1				
	Sábado		1	1	1	1	1	1	1				
	Dom. o Festivo		1	1	1	1	1	1	1				
BAÑO 1	L. a V.	1	1		1				1	1			
	Sábado		1	1	1				1	1			
	Dom. o Festivo												
BAÑO 2	L. a V.												
	Sábado												
	Dom. o Festivo												
DORM. 1	L. a V.	1							1				
	Sábado								1				
	Dom. o Festivo								1	1			
DORM. 2	L. a V.	1							1				
	Sábado								1				
	Dom. o Festivo									1			
DORMI. 3	L. a V.								1				
	Sábado								1				
	Dom. o Festivo									1			

Tabla.3 Horario de ocupación Caso 1

### 3.2 CASO 2

La vivienda posee un régimen de calefacción durante todo el año, en los horarios que se indican a continuación (ver Tabla 5), ello debido a que la principal fuente de calefacción usada, corresponde a una cocina a leña la cual durante los meses fríos de invierno se mantiene encendida en forma prolongada (ver Tabla 6).

Adicionalmente, es importante indicar que la vivienda se mantiene ocupada durante todo el día ya que, algunos de sus ocupantes constituyen niños y adultos mayores. En el mismo sentido, tal como puede apreciarse en la Tabla 5, los sectores de living comedor y cocina presentan la mayor ocupación durante todo el día, además la vivienda presenta una densidad de personas bastante elevada, no existiendo grandes diferencias entre lo que sucede de lunes a viernes y durante el fin de semana.



Figura 5. Vivienda Caso 2

		<b>N° de personas por hora en cada recinto</b>											
RECINTO	DÍAS	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00	02:00	04:00
		a 07:59	a 09:59	a 11:59	a 13:59	a 15:59	a 17:59	a 19:59	a 21:59	a 23:59	a 01:59	a 03:59	a 05:59
LIVING COMEDOR	L. a V.	2	2	2	3	3	3	3	4	5			
	Sábado	1	3	3	3	3	3	3	4	5			
	Dom. o Festivo		5	5	5	5	5	5	5	4			
COCINA	L. a V.	2	2	2	3	2	3	3	3	3			
	Sábado	2	2	2	3	3	3	3	3	3			
	Dom. o Festivo		3	3	3	3	3	3	3	3			
BAÑO 1	L. a V.	2	2		3			1	1	5			
	Sábado	1	3		3			1	1	5			
	Dom. o Festivo		5		3			1	1	5			
DORM. 1	L. a V.	2								1	2	2	2
	Sábado	2								1	2	2	2
	Dom. o Festivo	2								1	2	2	2
DORM. 2	L. a V.	1									1	1	1
	Sábado	1									1	1	1
	Dom. o Festivo	1									1	1	1
DORM. 3	L. a V.	1									2	2	2
	Sábado	1									2	2	2
	Dom. o Festivo	2									2	2	2

Tabla.5 Horario de ocupación Caso 2

		<b>N°1 indica uso de calefacción en recinto</b>											
RECINTO	DÍAS	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00	02:00	04:00
		a 07:59	a 09:59	a 11:59	a 13:59	a 15:59	a 17:59	a 19:59	a 21:59	a 23:59	a 01:59	a 03:59	a 05:59
LIVING COMEDOR	L. a V.			1	1	1	1	1	1				
	Sábado			1	1	1	1	1	1				
	Dom. o Festivo			1	1	1	1	1	1				
COCINA	L. a V.			1	1	1	1	1	1				
	Sábado			1	1	1	1	1	1				
	Dom. o Festivo			1	1	1	1	1	1				
BAÑO 1	L. a V.												
	Sábado												
	Dom. o Festivo												
DORM. 1	L. a V.							1	1				
	Sábado							1	1				
	Dom. o Festivo							1	1				
DORM. 2	L. a V.			1	1	1	1	1	1				
	Sábado			1	1	1	1	1	1				
	Dom. o Festivo			1	1	1	1	1	1				
DORM. 3	L. a V.			1	1	1		1	1				
	Sábado			1	1	1	1	1	1				
	Dom. o Festivo			1	1	1	1	1	1				

Tabla.6 Horario de calefacción Caso 2

### 3.3 CASO 3

La vivienda presenta como característica un régimen de calefacción bajo, ya que ésta solo se mantiene encendida, en periodos de tiempo comprendidos entre las 7:00 y 11:00 de la mañana y, posteriormente, entre 18:00 y 22:00 horas. Asimismo, sólo se hace uso de ella en los sectores de living comedor (ver Tabla 8). En cuanto al régimen de ocupación, resulta ser bastante ocasional, de lunes a viernes, siendo principalmente habitada por sus ocupantes en la noche después de las 21:00 horas. En cuanto a los fines de semana, la condición cambia, existiendo una mayor permanencia de sus ocupantes, lo que se refleja en los sectores de living comedor y cocina, los cuales de lunes a viernes prácticamente permanecen desocupados durante el día (ver Tabla 7). La razón del comportamiento antes mencionado puede deducirse de la cantidad y tipo de actividad que desarrollan sus ocupantes.v



Figura 6. Vivienda Caso 3

		N° de personas por hora en cada recinto											
RECINTO	DÍAS	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00	02:00	04:00
		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
		07:59	09:59	11:59	13:59	15:59	17:59	19:59	21:59	23:59	01:59	03:59	05:59
LIVING COMEDOR	L. a V.	1							1	3	3		
	Sábado	3		3	3			3					
	Dom. o Festivo		3	3	3	3	3		3	3	3		
COCINA	L. a V.	1											
	Sábado		1		1	1							
	Dom. o Festivo		1		1	1							
BAÑO 1	L. a V.	3		2		2	2		3				
	Sábado	3	1	1		1			3				
	Dom. o Festivo	3	1	1		1			3				
DORM. 1	L. a V.	2				2	2						
	Sábado	2				2	2				2	2	2
	Dom. o Festivo	2									2	2	2
DORM. 2	L. a V.	1									2	2	2
	Sábado	1	1	1							1	1	1
	Dom. o Festivo	1	1	1							1	1	1

Tabla.7 Horario de ocupación Caso 3.

		<b>N°1 indica uso de calefacción en recinto</b>											
RECINTO	DÍAS	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00	02:00	04:00
		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
		07:59	09:59	11:59	13:59	15:59	17:59	19:59	21:59	23:59	01:59	03:59	05:59
LIVING COMEDOR	L. a V.	1	1					1	1				
	Sábado	1	1	1				1	1				
	Dom. o Festivo	1	1	1				1	1				
COCINA	L. a V.												
	Sábado												
	Dom. o Festivo												
BAÑO 1	L. a V.												
	Sábado												
	Dom. o Festivo												
DORM. 1	L. a V.												
	Sábado												
	Dom. o Festivo												
DORM. 2	L. a V.												
	Sábado												
	Dom. o Festivo												

Tabla.8 Horario de calefacción Caso 3.

Tras observar los datos sobre horarios de calefacción y ocupación, se aprecian dos aspectos importantes. El primero está dado por la estrecha relación existente entre dichas variables, ya que a mayor ocupación, el nivel de calefacción también aumenta. No obstante, es visible además que la calefacción resulta ser bastante sectorizada, abarcando principalmente los sectores de living-comedor y cocina. Lo anterior permite inferir que los dormitorios están sometidos a condiciones más bajas de temperatura, al menos para los casos 1 y 3. Por consiguiente, implementar mejoras en estos sectores resultaría un aporte importante para lograr la condición de confort en las viviendas. tipo de actividad que desarrollan sus ocupantes.v

#### 4 SELECCIÓN DE SISTEMAS DE MEJORAMIENTO TÉRMICO A EVALUAR

La selección de los sistemas de mejoramiento se realizó revisando el listado oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico (MINVU, 2014). Sin embargo, previamente se definen aquellas más óptimas. En el primer paso, se identifican las soluciones constructivas para muros de albañilería, debido a que el total de los casos está compuesto principalmente por este sistema. Luego, de estas últimas se descartan aquellas eliminadas o que no se encuentran vigentes. Además de las soluciones para albañilería, se eliminan aquellas que no son utilizables en la zona por su elevada transmitancia térmica. De esta forma, se establecen soluciones genéricas para someter a evaluación (ver Tabla 9).

1. Sistema EIFS:  
Aislación de poliestireno expandido adherida mediante base cementicia al sustrato, y que por el exterior entrega terminación de mortero sobre malla y un revestimiento polimérico.

Ítem	Descripción	Ubicación	U [W/m²K]	Precio/m2 [USD\$]
S1	Sistema EIFS <sup>1</sup> 30 [mm] de espesor	exterior	0,84	\$ 33,20
S2	Sistema EIFS <sup>1</sup> 50 [mm] de espesor	exterior	0,6	\$ 35,00
S3	Poliestireno 10 [mm] + yeso cartón 10 [mm]	interior	1,51	\$ 18,10
S4	Poliuretano 10 [mm] densidad 25 [kg/m³] + yeso cartón 10 [mm]	interior	1,26	\$ 27,20
S5	Poliestireno 10 [mm] + fibrocemento 6 [mm]	interior	1,54	\$ 19,30
S6	Poliuretano 10 [mm] densidad 25 [kg/m³] + Fibrocemento 6 [mm]	interior	1,28	\$ 33,90
S7	Poliestireno 30 [mm] + yeso cartón 10 [mm]	interior	0,89	\$ 23,20
S8	Poliuretano 30 [mm] densidad 25 [kg/m³] + yeso cartón 10 [mm]	interior	0,65	\$ 30,30
S9	Poliestireno 30 [mm] + Fibrocemento 6 [mm]	interior	0,9	\$ 24,80
S10	Poliuretano 30 [mm] densidad 25 [kg/m³] + Fibrocemento 6 [mm]	interior	0,66	\$ 37,10
S11	Estuco térmico 25 [mm] densidad 969 [kg/m³]	interior-exterior	1,68	\$ 26,20

Tabla.9 Listado de soluciones evaluadas..

Como se observa, existen soluciones que se basan en los mismos sistemas, los cuales básicamente presentan diferencias en los espesores del material aislante; no obstante, dado que la inversión inicial cambia, se optó por considerar varias alternativas de mejoramiento. Además, se aprecia una mayor cantidad de soluciones en el interior, lo que viene dado por la mayor combinación entre revestimientos y materiales aislantes dentro del listado.

#### Proceso de simulación

Hoy se dispone de variadas herramientas de simulación térmica validadas y reconocidas, entre ellas: BLAST, BSim, DeST, DOE-2.1E, ECOTECT, Ener-Win, Energy Express, Energy-10, EnergyPlus, ESP-r, PowerDomus, SUNREL, Tas, HAP, HEED, TRACE y TRNSYS, eQUEST, IDA ICE, IES/VES (Crawley *et al.*, 2008, citado en Hatt, 2012).

Para el estudio de casos y sistemas incorporados se utiliza el *software* de simulación energética DesignBuilder versión 3.4. Este incorpora Energy Plus, herramienta de cálculo empleada por ingenieros, arquitectos e investigadores para modelar el uso de la energía en los edificios (U.S. Department Of Energy, 2014). Dentro de las ventajas que proporciona el programa, destaca su

capacidad de modelar en 3D, de extraer digitalmente planos desde el formato AutoCAD, de entregar cálculos térmicos rápidos y de poseer una interfaz gráfica fácil de utilizar. Asimismo, caracterizaciones respecto a las diferentes herramientas existentes en el mercado de la simulación energética (García *et al.*, 2014), la clasifican dentro de las más completas, ya que permite incorporar a las modelaciones detalles como descripción de equipos, archivos climáticos, horarios, comprobación de normativas, etc. En este estudio, tales detalles provienen de un trabajo de campo realizado en las tres viviendas, en las que se levantó información respecto a la materialidad, condiciones geográficas, horarios de calefacción y ocupación, además de los tipos de combustibles utilizados para ello.

El proceso de simulación contempla el uso de una temperatura mínima de confort de 20° durante el día y 18° en la noche. Además, se consideran dos simulaciones base. En la primera se toman en cuenta los periodos de tiempo en que se enciende la calefacción, de acuerdo a lo informado por los usuarios (consumo). En tanto que la segunda implica mantener la condición de confort en todo momento (demanda). Los resultados obtenidos se observan en la Tabla 10.

Caso/Ubicación	Calefacción [kWh/m <sup>2</sup> ]	
	SIM-01	SIM-02
1/San Pedro de la Paz	35,4	130,5
2/Talcahuano	37,6	122,4
3/Dichato	8,66	111,06

Tabla.10 Demandas anuales calefacción [kWh/m<sup>2</sup>]  
SIM-01 Demanda calefacción existente, SIM-02 Demanda anual requerida.

A modo de comparación, investigaciones previas (Bustamante *et al.*, 2009) determinan, para viviendas de similares características en Concepción, demandas de energía de 113 kWh/m<sup>2</sup>. Otras investigaciones (García, Trebilcock y Soto, 2013) obtuvieron demandas anuales ubicadas entre los 50 y los 200 kWh/m<sup>2</sup>. Lo anterior muestra que, si bien los resultados no son iguales, se aproximan bastante, o bien, se mantienen en rangos similares, considerando que cada vivienda posee características particulares que la vuelven única y originan variaciones en este sentido.

#### Análisis de las demandas base

Las simulaciones muestran demandas en calefacción y refrigeración durante los 12 meses del año, tanto para la condición de calefacción real como la requerida. Se observa que el periodo con mayor demanda en calefacción corresponde al mes de julio, en tanto que para refrigeración, a enero. Datos que resultan coherentes, puesto que estos son los meses donde se registran las extremas de temperaturas en invierno y verano, respectivamente. Además, se aprecia la gran diferencia entre la energía requerida en cada vivienda y la que en efecto se consume (ver Figura 7). En el Caso 1 el consumo de la vivienda representa solo un 27% de lo que en realidad requiere, en el Caso 2, en tanto, el consumo asciende al 49%, y, finalmente, el Caso 3 presenta la relación más baja, solo un 8%.

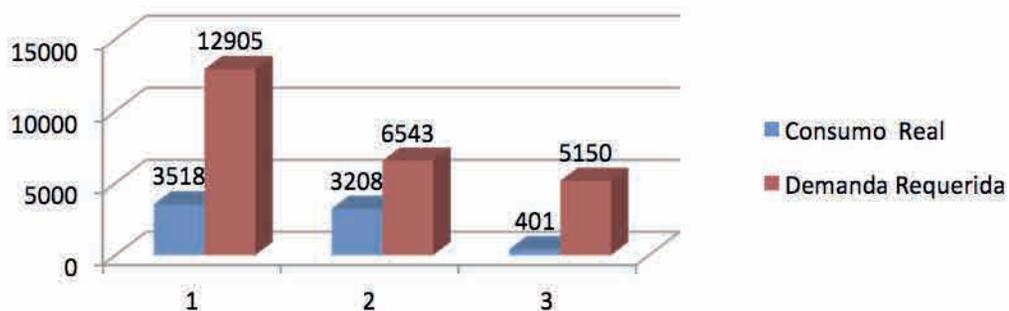


Figura.7 Consumo versus demanda en calefacción [kWh].

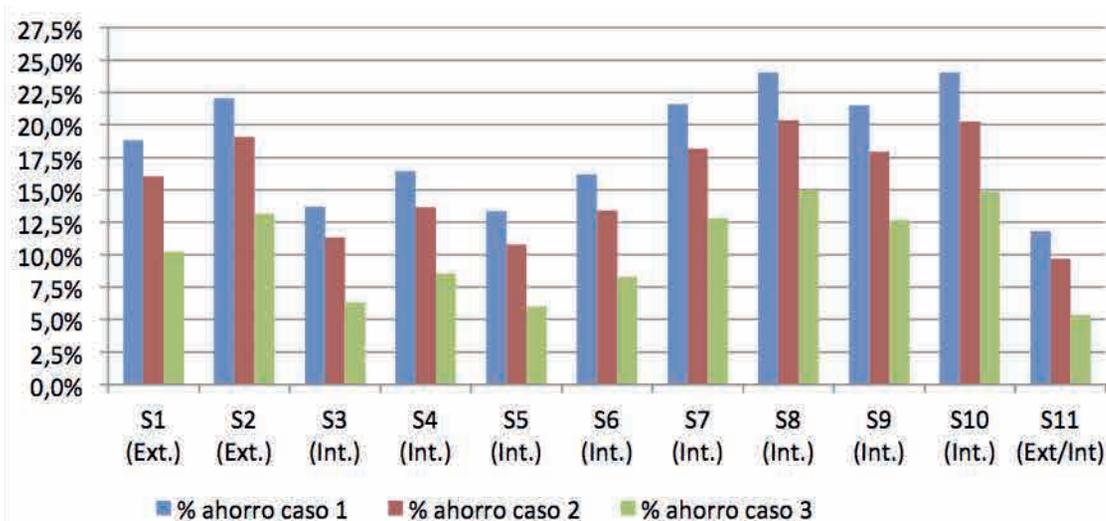


Figura.8 Ahorros/soluciones bajo régimen de calefacción real.

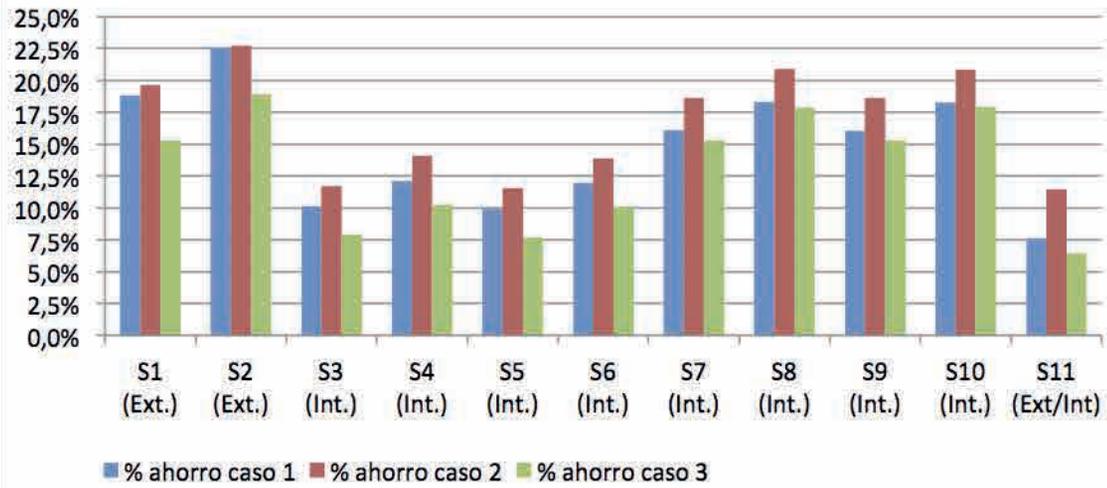


Figura.9 Ahorros/soluciones bajo régimen de calefacción requerida.

Como se observa en la Figura 8, el régimen de calefacción existente permite que las soluciones estudiadas otorguen ahorros en la demanda, los que varían de entre un 5,4% a un 24,1%, en el mejor de los casos. De igual forma, las soluciones con los mayores ahorros son aquellas incorporadas por el interior de la envolvente (poliuretano + yeso cartón).

Ahora bien, si se mantiene la calefacción permanente para lograr la condición de confort (Figura 9), los resultados cambian, puesto que el sistema EIFS (ver Figura 4) en 50 mm, permite obtener ahorros mayores en la demanda. Sin embargo, las diferencias con respecto a la mejor alternativa por el interior, se ubican entre el 1% y 4,2% en los tres casos.

La influencia que poseen estos porcentajes se aprecia en el análisis económico que se expone a continuación.

#### Análisis económico

El análisis costo ciclo de vida o LCC, por sus siglas en inglés, se realiza de acuerdo a la metodología planteada en la norma ASTM E917 (2013). Para llevarlo a cabo se definen una serie de supuestos sobre los cuales se rige el análisis. Se incluye el aumento de la tasación del bien inmueble al fin del ciclo de vida útil, considerando tasaciones comerciales de viviendas similares.

Para los diversos sistemas, el LCC está calculado teniendo en cuenta tanto el consumo real en calefacción como la demanda anual. A continuación, se detallan los supuestos definidos (Tabla 11) y se analizan los resultados obtenidos.

Tasa de descuento	6%
Ciclo de vida de estudio	25 años
Periodo del estudio	Anual
Escalamiento combustibles	Gas licuado: 13%
	Leña: 2%
	Electricidad: 5%
Inflación	No se considera
Valor de reventa	Sistemas por el interior: Aumento 15% de la inversión Sistemas por el exterior: Aumento 50% de la inversión

Tabla.1 Fundamentos casos de estudio.

Se consideró aquí que las mejoras serían gestionadas por alguna EGIS municipal, por ende, fueron utilizados porcentajes de utilidades y gastos generales acorde al máximo que aceptan dichas instituciones, es decir, 20 y 8%, respectivamente.

#### LCC régimen de calefacción real y requerido.

Existe una gran diferencia respecto al LCC en ambos regímenes de calefacción. Por una parte, al considerar la calefacción real, se aprecia, en los casos 1 y 3, que todas las soluciones concluyen en un costo mayor al finalizar el periodo de estudio. Esto evidencia la dificultad para recuperar la inversión inicial en su totalidad, tal como se aprecia en la Figura 10.

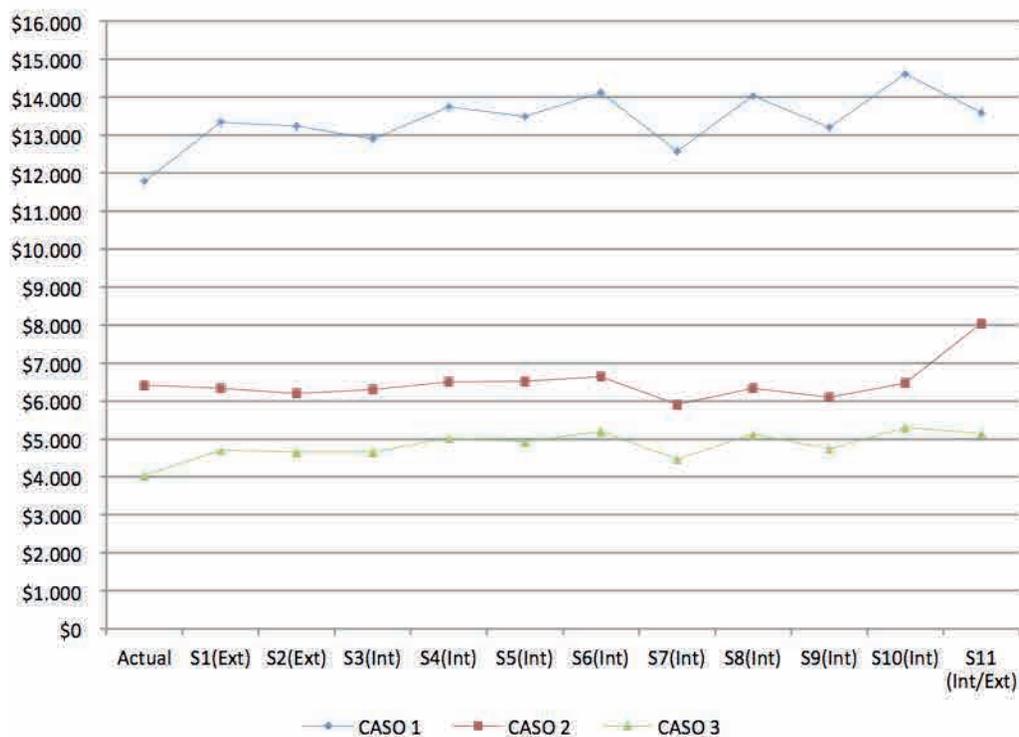


Figura.10 LCC Régimen de calefacción real.

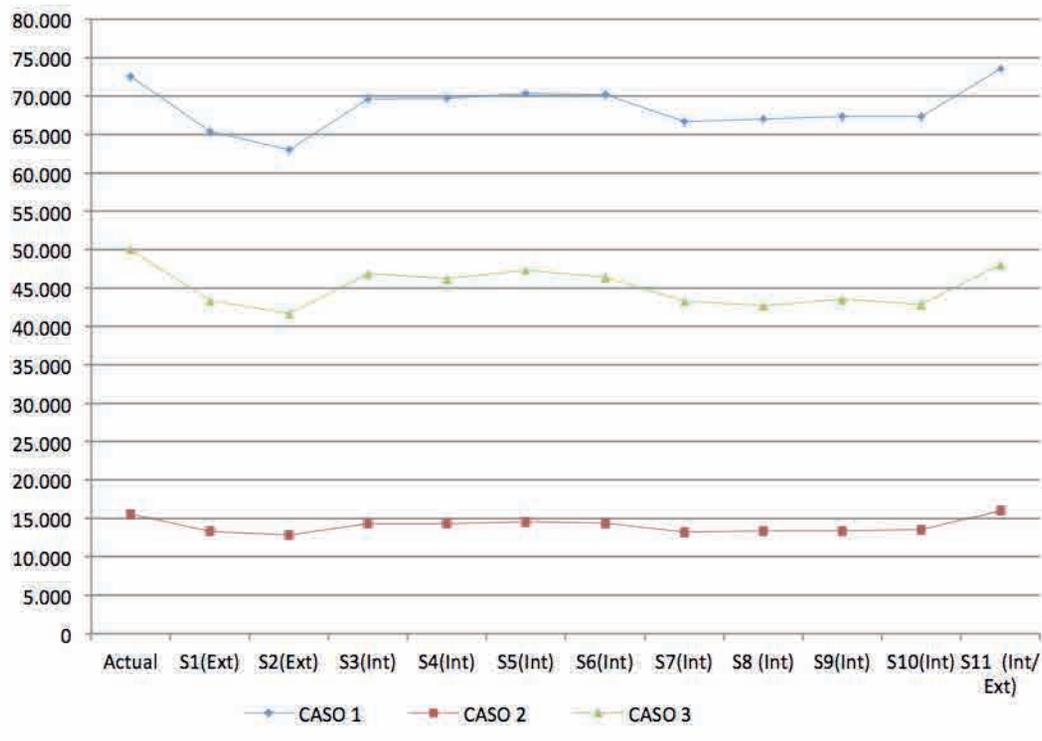


Figura.11 LCC Régimen de calefacción requerido.

Por otra parte, en el Caso 2, la mayor similitud entre los regímenes de calefacción, permite que se observen alternativas que reducen el LCC en ambos escenarios. No obstante, las soluciones son evaluadas considerando su aplicación a través de la obtención del subsidio de mejoramiento térmico, por lo cual la inversión inicial no es asumida por el beneficiario y su uso sirve solo como punto de comparación para establecer diferencias entre las respectivas soluciones.

Otro aspecto importante de analizar, es que ante el régimen de calefacción real, los mejoramientos por interior constituyen las alternativas más recomendadas. Mientras que considerando el régimen requerido, la mayoría de las soluciones permiten obtener costos más bajos que la situación actual (Figura 11), siendo la solución en base al sistema EIFS (S2 (Ext)) aquella que resulta más beneficiosa en todos los casos estudiados.

Se observa, además, una gran diferencia en el costo final para cada caso, lo que se explica en parte por el tipo de combustibles usados en cada vivienda, la superficie construida y el régimen de calefacción existente.

Ahora bien, es necesario determinar si la inversión inicial asociada a cada sistema es compatible con el monto atribuible a cada vivienda, lo cual se analiza a continuación.

#### Caso 1, San Pedro de la Paz.

La vivienda del Caso 1 fue construida antes del año 2007, lo que indica que puede optar a un monto máximo cercano a los USD \$4.640. Comparando el monto máximo del subsidio y el costo de implementación, se obtiene que el sistema EIFS sobrepasa el monto asignado (ver Figura 12), lo que descarta su aplicación, al menos en la vivienda completa. Sin embargo, resulta ser el sistema que brinda la mejor relación de costo beneficio, transcurrido el periodo estudiado.

Tal situación se produce debido a la extensa superficie de muros expuesta al exterior. Las demás medidas sí se ajustan al monto máximo del subsidio, lo que las convierte en alternativas viables.

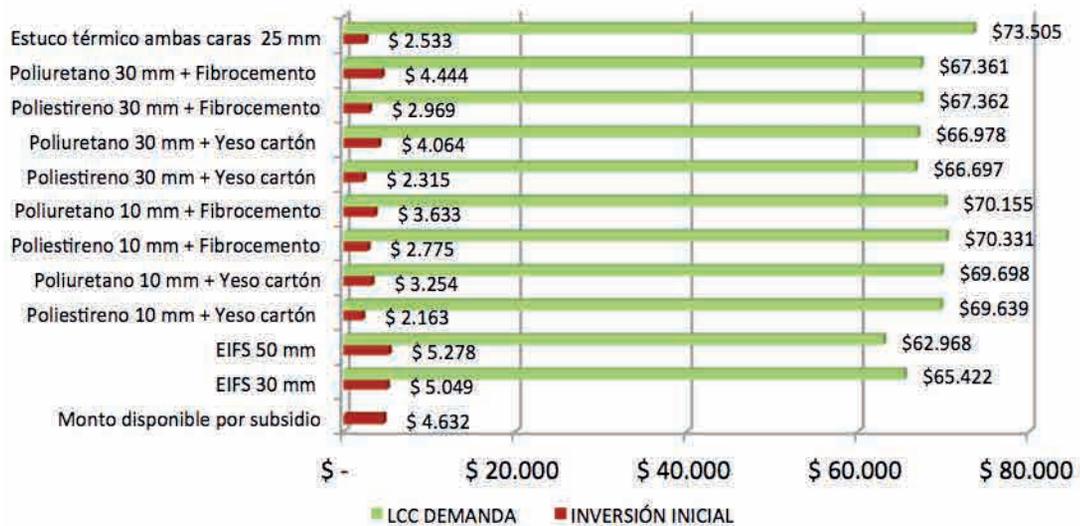


Figura.12 Caso 1: Inversión inicial en sistemas versus LCC demanda.

#### Caso 2, Talcahuano.

La vivienda del Caso 2, construida en 1983, puede optar al subsidio por un monto máximo de USD \$4.640 al igual que la vivienda del caso 1.

Sin embargo, tal como exhibe la Figura 13, a diferencia del Caso 1, la totalidad de los sistemas de mejoramiento presentan un costo inferior al máximo atribuible por el subsidio, debido a que la vivienda en cuestión presenta una menor superficie construida.

#### Caso 3, Dichato.

La vivienda de Dichato fue entregada el año 2011, fecha posterior a la implementación de la reglamentación térmica, por lo cual el monto máximo al que puede optar es cercano a los USD \$2.380.



Figura.13 Caso 2: Inversión inicial en sistemas versus LCC demanda.



Figura.14 Caso 3: Inversión inicial en sistemas versus LCC demanda.

## 5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad se basa en el uso de las normas ASTM E1369 (2011) y E1946 (2012), las que entregan directrices para complementar el análisis económico LCC. Este procedimiento se realiza para medir el impacto en los resultados del proyecto (LCC soluciones), dado que ocurren cambios en los valores de entrada considerados, producto de la incertidumbre existente sobre ellos. La técnica utilizada comprende el uso de la simulación de Montecarlo a través del software @RISK versión 6.2. Se optó, además, por considerar solo el sistema con mayor inversión inicial en cada caso (EIFS en 50 [mm]), debido a que es el más influyente de todos, tanto en la inversión necesaria como en la reducción de los costos en calefacción.

En la figura 15, es posible apreciar el LCC correspondiente a los tres casos. En el Caso 1 existe alrededor de un 90% de probabilidad que el LCC se sitúe en un valor comprendido entre USD\$61.108 y USD\$69.084, lo cual evidencia la gran incidencia que genera una variación en los parámetros de entrada. En el Caso 2, dado el tipo de combustibles usados, el 90% de probabilidad se encuentra en torno a un margen mucho más estrecho.

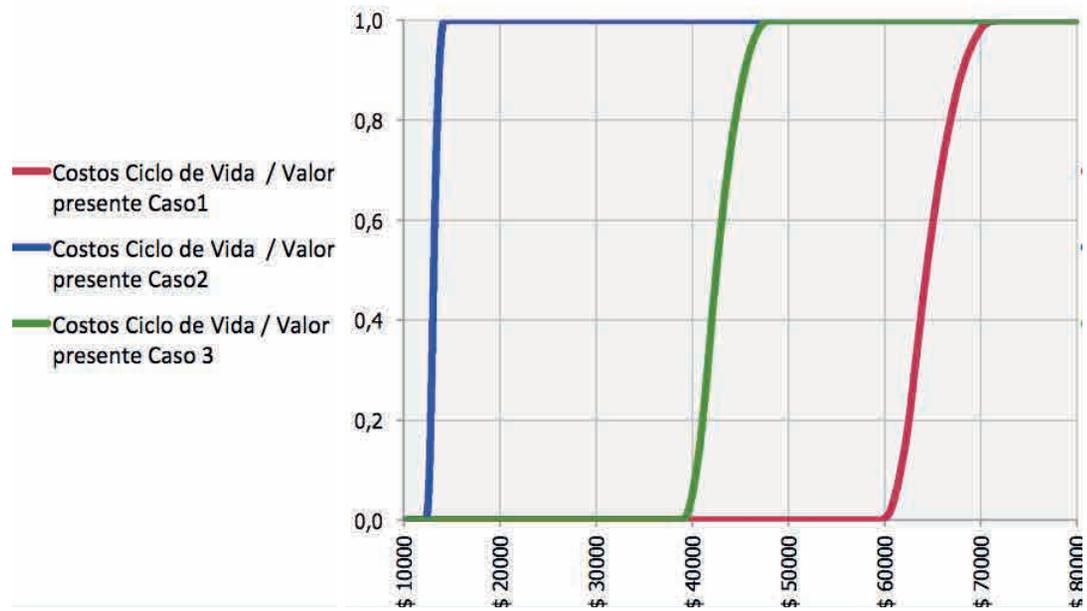


Figura.15 Caso 1, Variación LCC por cambio en valores de entrada

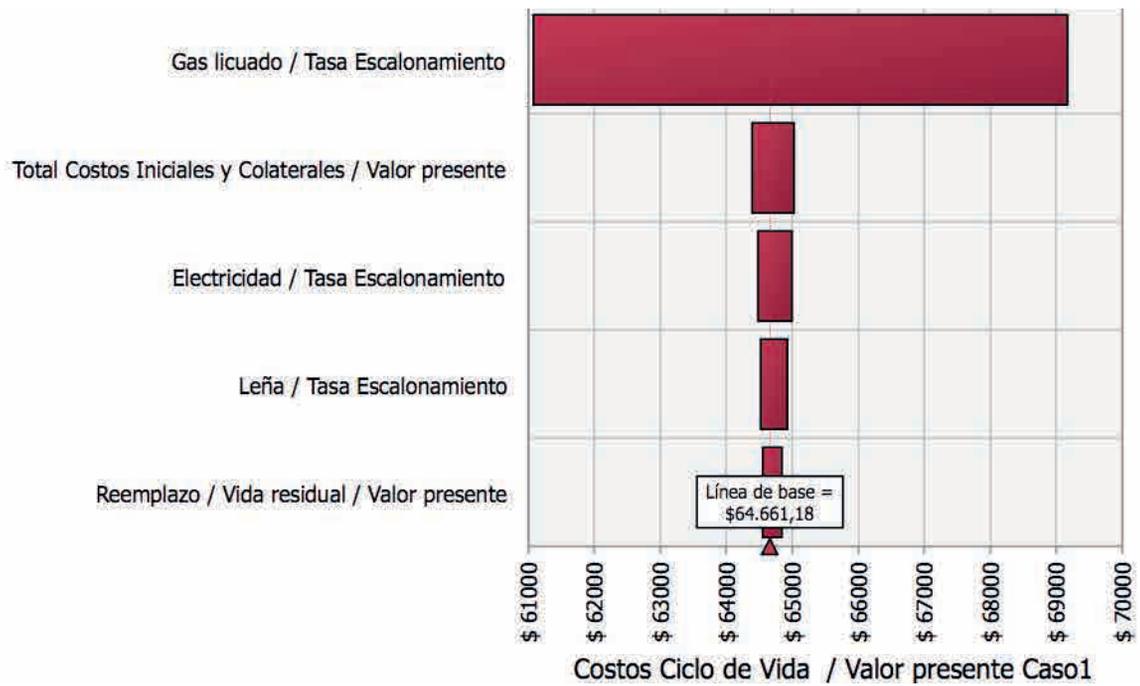


Figura.16 Caso 1, Análisis de sensibilidad mediante gráfico de tornado

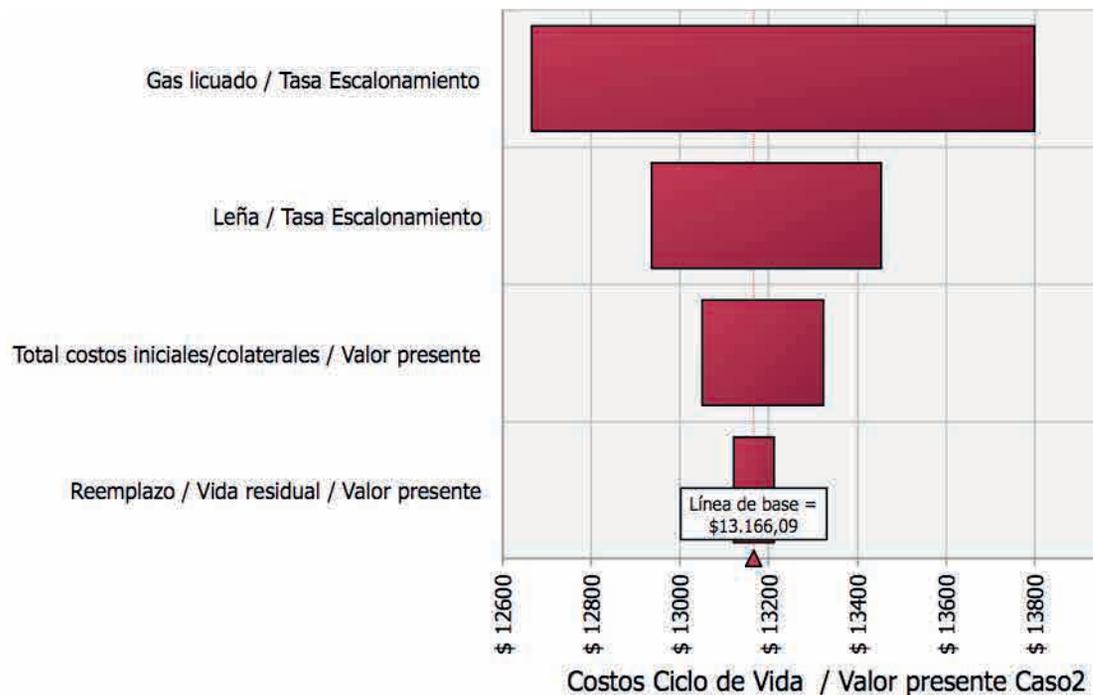


Figura.17 Caso 2, Análisis de sensibilidad mediante gráfico de tornado

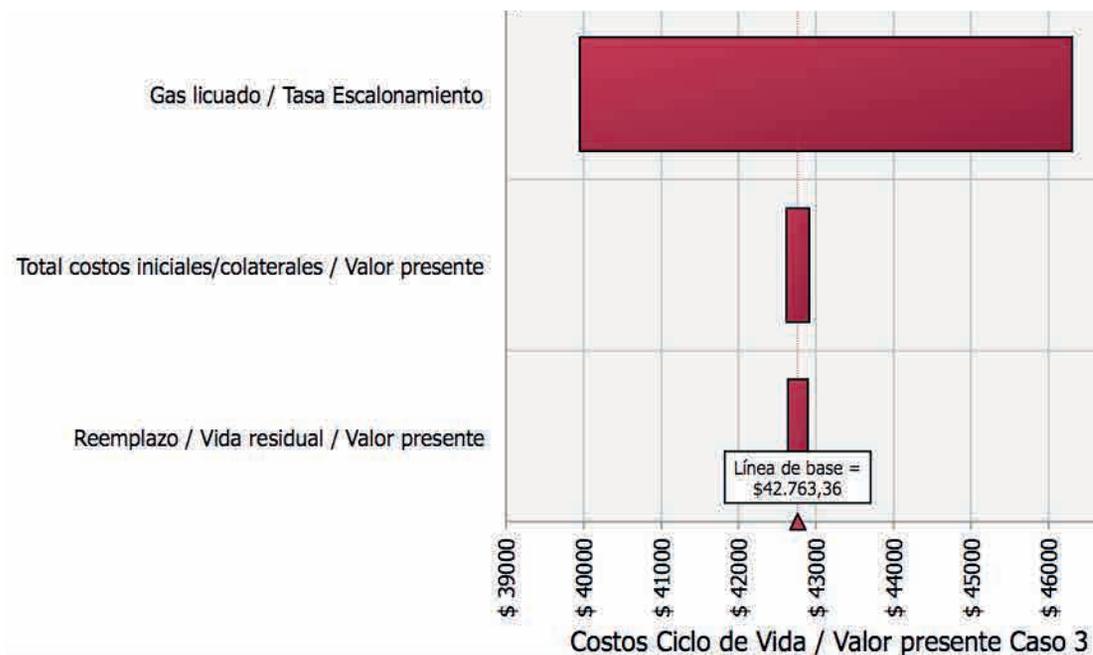


Figura.18 Caso 3, Análisis de sensibilidad mediante gráfico de tornado

Finalmente, en el Caso 3 existe un 90% de probabilidad de que el LCC se sitúe entre los USD \$40.000 y USD \$46.000. Por lo demás, la cantidad de variables de entrada que afectan el valor de salida (LCC), resultan ser menos que en el resto de casos, puesto que solo se considera el uso de calefacción por medio de gas licuado.

Tal como se observa en la figura 16, el parámetro que significativamente muestra una mayor influencia en el cambio del LCC es la variación respecto a la tasa de escalamiento del gas licuado. En segundo lugar, se encuentran los costos iniciales, seguido de la tasa de escalamiento para la electricidad y leña respectivamente, con diferencias bastante bajas entre sí. No obstante, destaca también la influencia respecto a la tasa de escalamiento de la electricidad, puesto que, su uso en relación a los demás combustibles representa un porcentaje menor de la demanda total de energía que requiere la vivienda.

Para el Caso 2, la figura 17 muestra que nuevamente un cambio respecto a la tasa de escalamiento del gas licuado resulta ser el factor que más incide en un aumento del LCC. El segundo lugar, lo representa la tasa de escalamiento para la leña, seguido por el costo de inversión inicial y los costos de remplazo. Al igual que en el Caso 1, destaca el efecto que provoca la tasa de escalamiento para el gas licuado, aun cuando la mayor parte de la demanda de energía en la vivienda se cubre por medio de la calefacción a leña. La inversión inicial y costos de remplazo representan valores más bajos que en el Caso 1, producto del menor tamaño de la vivienda, la cual repercute en una inversión inicial menor.

Finalmente, en el Caso 3, tal como se aprecia en la figura 18, otra vez la tasa de escalamiento para los combustibles constituye en el factor más influyente. El único combustible utilizado es el gas licuado, por consiguiente, es también el que más afecta el resultado obtenido.

## 6 CONCLUSIONES

Es posible señalar, que los resultados obtenidos demuestran la estrecha relación entre el régimen de calefacción de cada hogar y los ahorros que pudiesen producirse durante ciclo de vida de la vivienda. Además, se observa que las soluciones de mejoramiento de la resistencia térmica en muros, aplicadas en el interior, resultan más eficientes energéticamente que ejecutarlas por el exterior de la edificación. Esto, considerando que se observó regímenes de calefacción en periodos cortos y que las características de mejoramiento, como el tipo sistema EIFS, requieren que exista un nivel de calefacción más permanente para aprovechar al máximo el potencial de ahorro. Respecto a la posibilidad de implementar los diferentes sistemas de mejoramiento térmico, los resultados son variados. Para la vivienda perteneciente al Caso 1, si bien en ella se pueden obtener disminución de costos periódicos importantes por disminución de la demanda, la inversión asociada al sistema EIFS resulta estar por encima del máximo atribuible al subsidio estatal D.S.255. Esto se debe al efecto que tienen las dimensiones de la edificación. En tanto, en los Casos 2 y 3, el monto resulta ser suficiente, incluso al considerar que en este último solo puede atribuirse el monto base del subsidio, debido al año de construcción de la vivienda.

Por otra parte, el análisis económico arrojó variaciones entre los resultados obtenidos en los tres casos. Ello se puede atribuir a diferencias existentes en los regímenes de calefacción, producto de sus condiciones de ocupación, y también al tipo de combustible utilizado y al tamaño de las viviendas. Tomando en cuenta estos aspectos, el análisis de sensibilidad permitió evidenciar que, de todos los factores considerados dentro del análisis de costos de ciclo de vida, las tasas de escalamiento en los combustibles resultan ser el punto más relevante, y que, entre ellos, el gas licuado es el que provoca mayores diferencias en los resultados. Dado que la presente investigación enfocó su análisis en medir las ventajas de las determinadas soluciones térmicas para la construcción de viviendas, en términos del análisis de costos de ciclo de vida, no fue posible medir en profundidad otras características propias de cada sistema, como lo son, la disminución de los puentes térmicos, en el caso de los aplicados por el exterior, y la real aceptación de las mejoras por parte de los posibles beneficiarios. Si bien esta metodología de evaluación económica no ha sido aceptada de manera transversal por los analistas en nuestro país, representa una forma efectiva a la hora de resolver la valoración de mejoramientos en la vivienda respecto a la eficiencia energética.

Agradecimientos: FONDECYT Proyecto Regular 1120165. Evaluación de Modelos de Simulación Ambiental de Viviendas de la zona Centro-Sur de Chile – Universidad del Bío-Bío, Pontificia Universidad Católica – 2012-2015.

## BIBLIOGRAFIA

- ANDJELKOVIĆ, B. V., STOJANOVIĆ, B. V., STOJILJKOVIĆ, M. M., JANEVSKI, J. N., y STOJANOVIĆ, M. B. Thermal mass impact on energy performance of a low, medium, and heavy mass building in Belgrade. *Thermal science*. 2012, vol.16, S447-S459.
- ASTM. *Standard practice for measuring life-cycle costs of buildings and building systems*. E917. 2013.
- ASTM. *Standard guide for selecting techniques for treating uncertainty and risk in the economic evaluation of buildings and building systems*. E1369. 2011.
- ASTM. *Standard practice for measuring cost risk of buildings and building systems and Ooher constructed projects*. E1946. 2012.
- BUSTAMANTE, W., CEPEDA, R., MARTÍNEZ, P., y SANTA MARÍA, H. Eficiencia energética en vivienda social: un desafío posible. En: Concurso de Políticas Públicas. *Camino al bicentenario propuestas para Chile*. Santiago: 2009, pp. 253-282.
- CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO. *Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile*. 2010.
- CRAWLEY, D. B., MANO, J. W., KUMMERT, M., y GRIFFITHD, B. T. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and environment*. 2008, vol 43 (4), pp. 661-673.
- GARCÍA, R., TREBILCOCK, M., y SOTO, J. Mejoramiento ambiental de viviendas urbanas unifamiliares en centro-sur de Chile. *Arquitectura y urbanismo*. 2013, vol 34 (3), pp. 39-48.
- GARCÍA, R., GONZÁLEZ, A., BUSTAMANTE, W., BOBADILLA, A., y MUÑOZ, C. Características relevantes de la simulación energética de viviendas unifamiliares. *Informes de la construcción*. 2014, 66 (533): e005, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.108>.
- GUERRA SANTIN, O., ITARD, L., y VISSCHER, H. The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch in residential stock. *Energy and buildings*, 2009, vol 41, pp. 1223-1232.
- HATT, T. *El estándar "Passivhaus" en el centro-sur de Chile un estudio paramétrico multifactorial*. Tesis doctoral. Universidad del Bío-Bío, Concepción, 2012.
- IPSOS. *Resultados estudio sistema de aseguramiento de calidad*. 2012.
- JOHANSSON, R. Case study methodology. En: *Methodologies in housing research*. Estocolmo. 22-24 September, 2003.
- KOLAITIS, D. I., MALLIOTAKIS, E., KONTOGEORGOS, D. A., MANDILARAS, I., KATSOURINIS, D. I., y FOUNTI, M. A. Comparative assessment of internal and external thermal insulation systems for energy efficient retrofitting of residential buildings. *Energy and Buildings*, 2013, vol 64, pp. 123-131.
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. *Reglamenta programa protección del patrimonio familiar*. Decreto Supremo n°255. Texto actualizado 1 Abril 2010.
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. *Listado oficial de soluciones constructivas para acondicionamiento térmico*. Edición n°11, 2014.
- PAVEZ, A. Reglamentación térmica modificaciones en desarrollo. *Sustentabit*, 2013, vol 18, pp. 10-15.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. EnergyPlus energy simulation software. [en línea]. [Consultado el 1 Septiembre de 2014]. Disponible en: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/?utm\\_source=EnergyPlus&utm\\_medium=redirect&utm\\_campaign=EnergyPlus%2Bredirect%2B1](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/?utm_source=EnergyPlus&utm_medium=redirect&utm_campaign=EnergyPlus%2Bredirect%2B1)

Artículo  
Recibido 3-28-2015  
Aceptado 12-06-2015

# La envolvente arquitectónica y su influencia en la iluminación natural

## The building envelope and its influence on natural lighting

DAVID CARLOS ÁVILA RAMÍREZ, Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño. Universidad del Guadalajara, Guadalajara, Mexico \ david22\_2000@hotmail.com

SILVIA ARIAS OROZCO, Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño. Universidad del Guadalajara, Guadalajara, Mexico \ silviaorozco12@hotmail.com

### Palabras clave:

Iluminación natural, ahorro energético, confort visual

### Keywords:

Natural lighting, energy savings, visual comfort

### RESUMEN

Los elevados consumos eléctricos registrados en algunas edificaciones en ciudades latinoamericanas, son cada vez más evidentes y de prioridad estratégica en los programas oficiales de eficiencia energética. En busca de un ahorro energético en edificaciones, sin demeritar el adecuado desarrollo de actividades visuales que requieren niveles de iluminación específicos, es necesario tomar en cuenta tanto la cantidad como la calidad de la iluminación que incide en los lugares de trabajo. El presente artículo enuncia los resultados de la evaluación de diferentes materiales de vidrio considerados como alternativas de la envolvente arquitectónica. El experimento se llevó a cabo en el Laboratorio de Ciencias del Hábitat (LASH) de la Escuela Nacional de Trabajos Públicos (ENTP), en Lyon (Francia), durante la primavera de 2010. Empleó una metodología de forma transversal y secuencial, cuyo objetivo principal es analizar dichos materiales de vidrio, modelos físicos en ambientes simulados, para aportar resultados que diferencien su empleo en espacios de distinta utilización. Desde los que necesitan un cierto porcentaje de factor de luz diurna mínimo, hasta los que requieran detalles visuales especiales para la realización de tareas específicas, comparando para ello los resultados de los diferentes materiales. Los parámetros que se mencionan se obtienen mediante el análisis de la distribución de la luz así como de la fotometría de los acabados en muros, pisos y techos.

### ABSTRACT

The high electricity consumption recorded in some buildings in Latin American cities is increasingly apparent and has become a strategic priority in official energy efficiency programs. In order to save energy in buildings without interfering with visual activities that require specific lighting levels, it is necessary to take into account not only the amount, but also the quality of lighting that has an impact on workplaces. This article sets out the results of the evaluation of different glazing materials considered as alternatives for building envelopes. The experiment was conducted in the Habitat Sciences Laboratory (LASH) at the National School of Public Works (ENTP) in Lyon, France, in the spring of 2010. A transverse, sequential methodology was used with the main objective of analyzing said glazing materials and physical models in simulated environments, to obtain results that differentiate their utilization in spaces with varying uses: from those that need a certain minimum percentage of daylight factor, to those that require special visual details for the accomplishment of specific tasks. Subsequently, the results of different materials were compared. The parameters mentioned were obtained through an analysis of the distribution of light and photometry of finishes on walls, floors and ceilings.

## 1 INTRODUCCION

Cualquiera que sean los métodos y los medios utilizados para efectuar aportes lumínicos (naturales) dentro del proyecto arquitectónico, estarán sujetos a las características de los materiales que se emplean para ello. Estos materiales intervienen directamente en la repartición y distribución de la luz en relación directa con su textura y su color, además de características fotométricas como el factor de reflexión, la absorción, o la transmisión. El análisis de estos materiales se divide, por lo tanto, en dos aspectos: la distribución de la luz y la fotometría de los muros.

En el acristalamiento de edificios existen varias alternativas que propician la entrada de luz y calor, y facilitan las vistas hacia el exterior. En lo que respecta al control de las ganancias solares, los cristales son usados (según el caso) como barreras contra la convección. Al tener una alta conductancia, no contribuye de manera directa a reducir las pérdidas por conducción.

Las investigaciones realizadas por Marc Fontoynt (1995) concluyen que según el empleo de los diversos tipos de cristales (al igual que otros materiales), varían sus capacidades para transmitir, reflejar y absorber radiaciones de acuerdo a su longitud de onda.

Varios autores (Moore, 1989) coinciden en afirmar que existen tres regiones del espectro de la radiación que son de particular interés para el diseño arquitectónico:

- Visible	0.4 - 0.7 micrones
- Cercano al infrarrojo	0.7 - 4.0 micrones
- Cercano al ultravioleta	0.3 - 0.4 micrones

## 2 DESARROLLO

### La función de la iluminación.

El ser humano tiene tiende a dar mucha importancia a la luz, ya que aproximadamente el 80% de la información que recibe viene de sus ojos. La visión no es una acción pasiva en respuesta a los objetos iluminados, es una acción de procesar la información y enfocar en los detectores de luz de la retina del ojo. Esta información es almacenada y transferida a través del nervio óptico hacia el cerebro para su interpretación. La visión es por lo tanto dependiente de la luz y del sistema visual (Moore, 1989).

La cantidad y la calidad de la luz que recibe el ojo humano tiene una influencia directa en la manera en que se ven las cosas. Los grandes arquitectos, desde los diseñadores del Partenón, a los emplazamientos arqueológicos mayas, los constructores de las catedrales góticas y hasta los arquitectos del presente siglo han comprendido

el impacto que tiene la luz natural y su importancia al desarrollar ambientes adecuados para el hombre.

Si bien la luz natural y artificial tienen características individuales y diferentes atributos cualitativos, la luz en general puede ser utilizada en condiciones arquitectónicas. Así como el empleo del tabique, el acero, la piedra y el concreto, la luz no debe emplearse como simple elemento decorativo sino como parte estructural de la arquitectura (Arias, Ávila, 2007).

En términos de luz, puede afirmarse que el confort lumínico se logra cuando el ojo humano está en condiciones de leer un libro u observar un objeto de manera fácil y rápida, sin distracciones y sin ningún tipo de estrés. Los parámetros a considerar para obtener confort visual son principalmente una adecuada iluminación, así como la limitación del deslumbramiento y las consideraciones subjetivas de un adecuado esquema de color y en el caso del diseño de la luz natural, evitar interiores oscuros y procurar proveer de las formas y tamaños adecuados de ventanas para mantener el contacto con el mundo exterior (CIE Standard, 2003).

Cabe la posibilidad de que al encontrar el criterio adecuado de iluminación y eliminación de deslumbramiento, este sea contradictorio con los requerimientos de otra índole, como son los casos del confort térmico y el confort acústico.

Con el objetivo de evaluar sus niveles de alteración y su interrelación con otros, y decidir con ello las prioridades del espacio propuesto para el desarrollo visual adecuado, es tarea del arquitecto considerar las variables de impacto: ganancias solares, comportamiento acústico y calidad de aire. Lo anterior debido a que no es lo mismo diseñar un espacio de estudio que uno de reposo, por lo que la escala de prioridades se moverá en una u otra parte (Fontoynt, 1995).

### Percepción visual y confort

El propósito principal de un buen diseño lumínico es crear ambientes bien iluminados donde sea factible el buen desarrollo visual sin fatiga de ésta. La importancia de estas consideraciones depende además de la función o tarea visual que se va a desarrollar en el espacio diseñado. No es lo mismo el diseño para una biblioteca que el de un taller orfebre o el de un local de ventas (Hopkinson, 1969).

En las investigaciones de iluminación surgió la necesidad de buscar nuevas alternativas energéticas al impacto creado por la crisis de los hidrocarburos durante la década de los ochenta. La viabilidad de facilitar las actividades visuales como leer un libro o realizar una tarea de agudeza visual puntual, pueden ser desarrolladas.

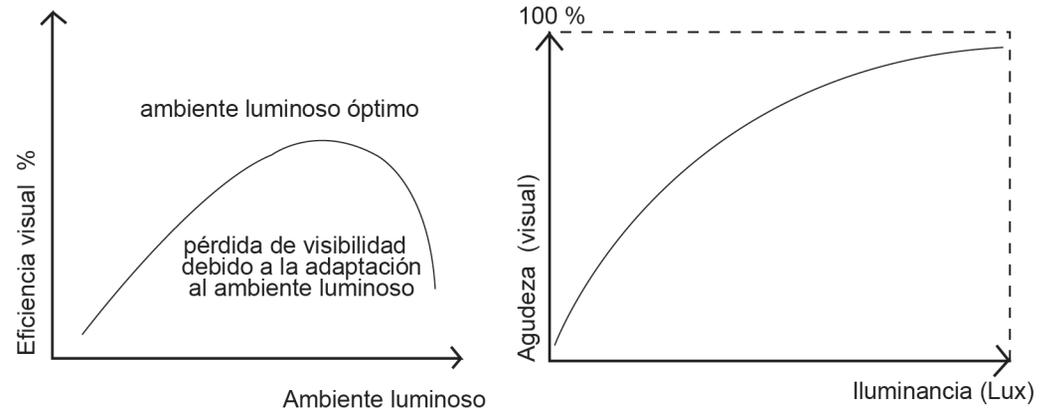


Figura 1. A. Eficacia visual B. agudeza visual (Ruck 1989)

Existen numerosos parámetros y tablas que indican los límites máximos, mínimos y recomendables de la iluminación requerida para cada especificación.

La medición de la tarea visual está generalmente determinada por la visibilidad de lo más pequeño o del detalle más difícil de reconocer. También es importante determinar el grado de contraste que esto tiene con el ambiente inmediato, la disponibilidad del tiempo de luz para desarrollar la tarea en cuestión y las capacidades del sistema visual.

Existen también otros factores que pueden perturbar el nivel de confort visual deseado como las reflexiones de otros elementos arquitectónicos y el grado de deslumbramiento que provocan e influyen decisivamente en el desarrollo visual.

Aunque es muy difícil determinar los efectos de los sistemas de iluminación en la productividad, si se pueden aproximar los parámetros a utilizar. Varios experimentos han sido realizados en condiciones simuladas, alejándose de lo concerniente a la iluminación natural. De los experimentos realizados, el de la Commission Internationale d'Eclairage (CIE) y los de la Illuminating Engineering Society (1999) son los más aceptados dada la seriedad de sus investigaciones.

#### Aspectos cualitativos

Así como la luz tiene la facultad de iluminar un espacio, es igual de necesaria para describir cierto número de información cualitativa. También la conjunción de una temperatura de color elevada (6000 a 20000 °K) y de un espectro continuo permiten a la luz natural procurar un rendimiento de los colores que, en comparación con la iluminación artificial, difieren de las diversas tonalidades reales (Ruck 1989).

#### Necesidades cualitativas

El nivel de iluminación no es el único criterio del confort visual. La homogeneidad de la luz, su dirección y su disponibilidad de crear sombras o contrastes, son algunos de los factores que también se deben tomar en cuenta para matizar los ambientes lumínicos de un espacio.

Es generalmente reconocido que al interior de un espacio la luz natural es un factor importante de la calidad de vida y satisface las necesidades sociales al asegurar el contacto con el mundo exterior. No existe en la actualidad ningún dispositivo artificial que pueda igualar en calidad a la iluminación natural. Aunque se han creado sistemas artificiales para acelerar el proceso natural en ciertos animales requeridos en la industria alimentaria, por ejemplo, se puede comprobar que la calidad del producto es inferior a uno producido en condiciones normales (Fontoynt, 1995).

Del mismo modo, en el ámbito arquitectónico la iluminación natural permite dar un valor cualitativo a los espacios, crea efectos de degradación ó focalización visual y, si se requiere, produce sensaciones de intimidad o de abertura hacia el exterior, lo que satisface además otras aspiraciones estéticas, fisiológicas y psicológicas.

El color, por su parte, puede proporcionar con la ayuda de la luz efectos distintos, esto es comprobable en las diferentes culturas del planeta. En latitudes elevadas son preferidos los tonos pastel, debido a las pocas horas de radiación solar que se reciben durante el año. No así en latitudes cercanas a los trópicos y al Ecuador, donde las preferencias son más hacia las tonalidades acentuadas.

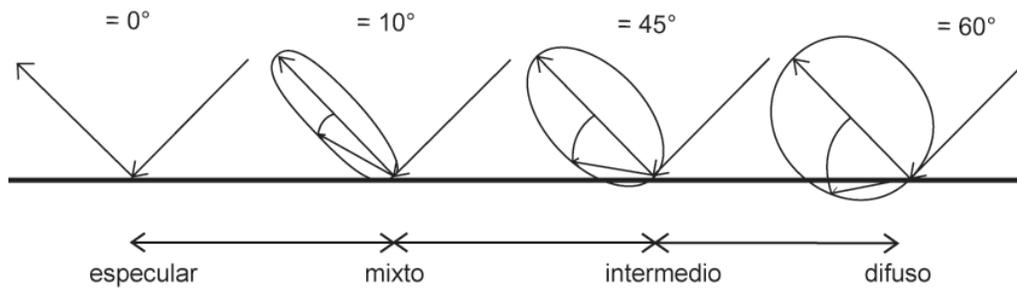


Figura 2. Modos de transmisión de la luz. (Fontoynt, 1995)

### Aspectos cuantitativos

La iluminación natural disponible, proveniente directamente del sol o del cielo, tiene una considerable importancia. Como ejemplo, la zona metropolitana de Guadalajara cuenta con 10.000 lux de iluminación libre horizontal durante el 90% del horario diurno en promedio. En espacios internos donde se requieren de un promedio de 300 a 600 lux, sería suficiente para realizar actividades visuales secundarias. Esto es solamente para los trabajos que requieren de adecuado desarrollo visual, como la de un taller orfebre que requeriría de iluminación artificial de apoyo. Evidentemente dependerá también de otras condiciones, como los niveles de reflexión de las superficies o el número de estas, que aportan reflexión hacia la abertura del espacio en cuestión (Arias, Ávila, 2007).

### Necesidades cuantitativas

Desde el punto de vista de su capacidad de adaptación, el ojo humano es un instrumento de precisión con posibilidades formidablemente extensas. Por ejemplo, el sol puede proporcionar directamente iluminación del orden de los 100.000 lux. Por el otro extremo, el ámbito nocturno sólo cuenta con la iluminación natural de la luna llena que apenas llega al orden de 1 lux. En ambos casos, el ser humano tiene las facultades visuales (si se considera lo normal) para distinguir su ambiente inmediato.

Como ya se mencionó, una iluminación natural del orden de los 300 a los 400 lux es considerada suficiente para procurar un nivel de confort aceptable para la mayoría de las actividades visuales terciarias, pero son necesarios 400 lux sobre un plano de trabajo dentro de un espacio de uso escolar (Commission Internationale de l'Éclairage, 2003). Esto también dependerá de la ubicación de dicho plano de trabajo con respecto a la abertura ya que los índices de iluminación obtenidos a más de 6 m de la abertura más cercana son insuficientes.

### Modos de transmisión de la luz

Esta diferenciación permitirá elegir el material óptimo para su utilización desde el punto de vista del comportamiento lumínico en el interior del espacio arquitectónico. Los cuatro modos de transmisión antes mencionados se dividen en:

**Transmisión especular.** Se considera especular a todos los materiales que permiten la transmisión de una imagen perfecta de la fuente luminosa a la que son expuestos.

**Transmisión difusa.** Este modo de transmisión se observa raramente, por lo que se considera teórica. Asimismo, los materiales con características fotométricas más cercanas al perfecto son las alfombras.

**Transmisión mixta.** Se dice de los materiales que combinan las características de los dos anteriores (especular y difuso). Así también los que tienen características de "brillantez" y transmiten una imagen relativamente precisa de la fuente luminosa.

**Transmisión intermedia.** Existe toda una gama que engloba la característica intermedia y que se define por la dispersión de la luz en una dirección privilegiada, exactamente la de dirección inicial de los rayos luminosos incidentes. (Figura 2)

A continuación se desarrolla el análisis de los cuatro materiales, donde se muestran las gráficas de transmisión lumínica con cuatro diferentes grados de incidencia (30°, 45°, 60° y 90°) así como la gráfica de los resultados obtenidos en modelos físicos en ambiente simulado de cielo cubierto. El análisis de las alternativas de los materiales de vidrio se realizaron por los autores, en el Laboratorio de Ciencias del Hábitat (LASH) de la Escuela Nacional de Trabajos Públicos del Estado (ENTPE) en Lyon, Francia, bajo la dirección del Dr. Marc Fontoynt (1995).

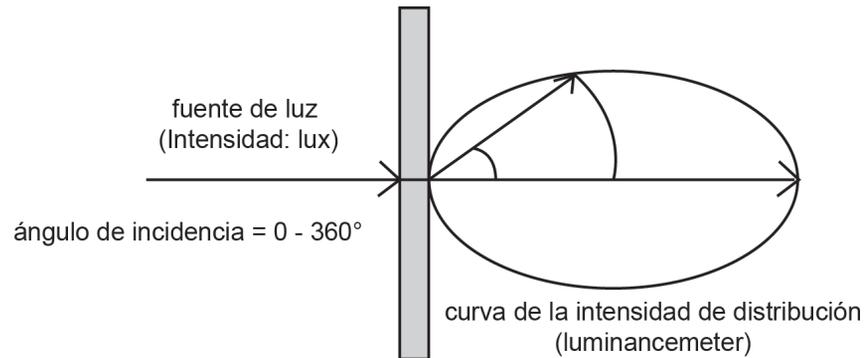


Figura 3. Intensidad de la distribución del flujo luminoso (Fontoynt, 1995)

### 3 MÉTODO

El objetivo de este estudio fue determinar el desempeño lumínico de diferentes tipos de materiales de vidrioado mediante su análisis en modelos físicos a escala 1:50 en ambientes simulados, con el fin de establecer los parámetros para su utilización en espacios arquitectónicos con requerimientos para tareas visuales específicas.

Para efectos de comparación se monitoreó el desempeño lumínico de materiales de vidrioado de bajo costo, o bien de fácil manejo e instalación, en espacios propicios para aprovechar la iluminación natural disponible en condiciones normales.

Debido a las características de la investigación, no se consideró el aporte que puede tener la radiación solar directa ni las ganancias térmicas o el intercambio de calor a través de la envolvente.

#### Materiales y métodos: Tipos de vidrios y acrílicos

Los autores mencionados (Moore, 1989; Fontoynt, 1995) clasifican los acristalamientos en siete tipos importantes para su aplicación en la iluminación natural debido a sus diferentes comportamientos en las tres regiones del espectro mencionado:

1. Vidrios claros
2. Vidrios grises / bronceados
3. Vidrios verdes "absorbentes térmicos"
4. Películas de reflectancia lumínica
5. Películas de reflectancia ultravioleta
6. Películas de reflectancia infrarroja
7. Plásticos transparentes al infrarrojo

Posteriormente, se analizan los más representativos (vidrio simple, acrílico translúcido, papel calca, acrílico opaco blanco, acrílico bronce) ya que por cuestiones de economía y disponibilidad, a diferencia del resto, son más inaccesibles.

En el presente apartado se analiza el factor de reflexión de diversos materiales. La clasificación incluye desde materiales opacos hasta translúcidos, en orden de definir sus características individuales según su aplicación mediante técnicas de iluminación natural. De tal manera, la fotometría de los materiales es la base de su aplicación adecuada en los componentes de la iluminación natural (Moore, 1989).

#### Técnica de medición

La transmisión lumínica a través del material puede ser determinada de acuerdo a la intensidad de la curva de distribución, la que se define por su ángulo de incidencia de la fuente luminosa. Los parámetros de medición utilizados en el análisis son:

**Ángulo de incidencia** de la fuente luminosa en el material (0-360°)

**Intensidad** de la misma (lux)

**Ángulo de observación** del luminancemeter (luminanciómetro) (0-180)

Debido a que el número de mediciones sería enorme si se realizaran en cada uno de los 360° del punto de observación (también de cada 360° de incidencia), sólo se realizan los ángulos más frecuentes 60° - 45° para iluminación lateral, 30° - 90° para cenital, lo que se llevaron a cabo con un luminancemeter LS-100.

Cabe observar que las pruebas realizadas por los fabricantes de materiales tienen el propósito de su utilización en luz artificial, por lo que es conveniente determinar el nivel de penetración y distribución para cada caso. De acuerdo con esto, se describen los materiales desde el punto de vista de las características antes mencionadas, los que se llevaron a cabo con medidor de luz Mavolux 5032B.

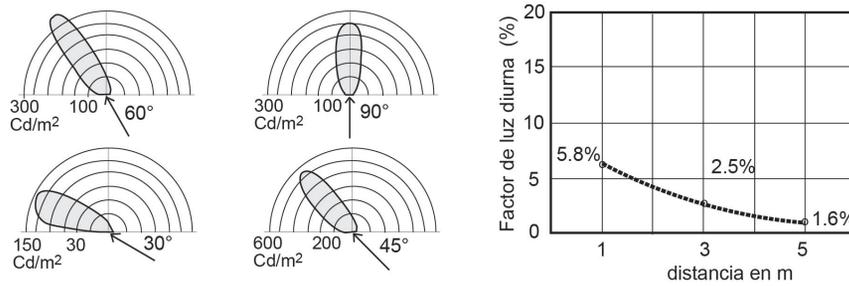


Figura 4. Análisis del papel calca. (Elaboración propia, 2012)

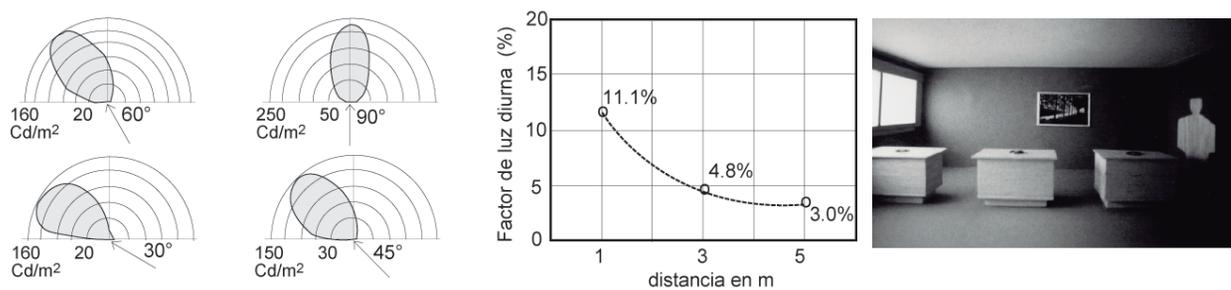


Figura 5. Análisis del acrílico difuso blanco. (Elaboración propia, 2012)

## 4 ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE LOS MATERIALES DE VIDRIADO

### Análisis en papel difuso calca

El análisis se centra en comparar globalmente la combinación de una o varias capas de papel calca sobre un vidrio normal (Figura 5). Las mediciones muestran que mientras más capas (hojas) de papel calca se superpongan, mayor se asemeja al comportamiento del acrílico blanco.

En este tipo de materiales difusores es donde se logra una dispersión de la luz más homogénea en el interior del espacio. Al contrario de lo que sucede con los materiales con factores de transmisión especular, el fondo del espacio (dentro de los primeros 6 m) puede llegar a tener niveles de iluminación aceptables para realizar tareas visuales poco complicadas.

La primera conclusión sería recomendar este tipo de materiales en combinación con otros, y su empleo adaptarlo a elementos arquitectónicos como serían las repisas de luz.

### Análisis en acrílico difuso blanco

Un vidrio difusor permite distribuir de manera uniforme la luz natural. Esta distribución se produce de un modo "limpio" e independiente de las condiciones atmosféricas exteriores (posición del sol, nublados, etc.) (Figura 6). Debido a la alta dispersión que produce, un material difusor también puede producir discomfort por deslumbramiento. Por ello se debe tener cuidado al diseñar las aberturas, al propiciar la difusión de la luz solamente en una porción de la ventana y combinar otro tipo de materiales y/o protecciones. El factor de transmisión que presentan los materiales difusos es inferior al del vidrio normal y por lo tanto disminuye la cantidad de iluminación transmitida.

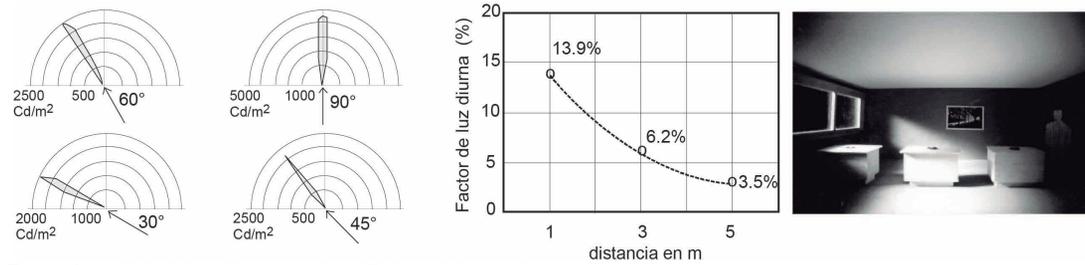


Figura 6. Análisis del acrílico especular. (Elaboración propia, 2012)

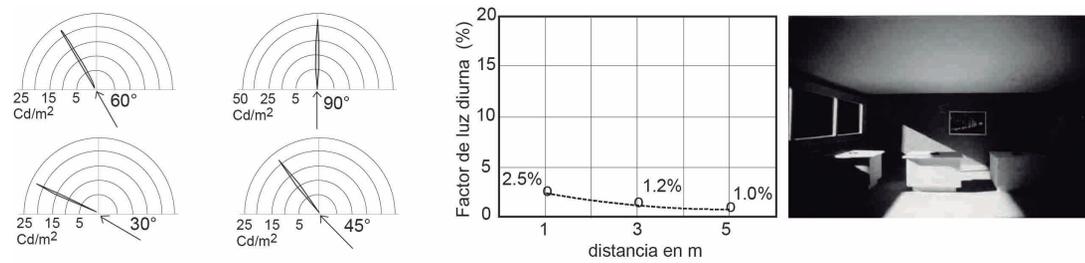


Figura 7. Análisis del acrílico bronce. (Elaboración propia, 2012)

#### Análisis en acrílico especular

Este material de transmisión mixta, frecuentemente utilizado en la iluminación de sanitarios, no es recomendable para su uso en espacios laborales. La doble dispersión que experimenta, produce altos grados de discomfort por deslumbramiento. Su utilización también en casos especiales sólo es recomendable si se combina con otros vidrios en las ventanas.

Como se observa en las gráficas, (Figura 7) el nivel de especularidad es mayor que el de los materiales difusos, ya que –junto a la ventana– logran altos niveles de iluminación (con su consecuente deslumbramiento) pero decrece hasta niveles similares al del acrílico difuso en el fondo del espacio.

#### Análisis en acrílico bronce

El empleo de este tipo de materiales con tintes fue ampliamente utilizado en las décadas setenta y ochenta (Figura 8). Contrario a lo que aseguran varios fabricantes, las ganancias térmicas no se ven reducidas si se dispone en orientaciones inadecuadas (Fontoynt,1995). La gráfica del factor de luz diurna muestra que la reducción de la iluminación es bastante considerable desde el primer punto del análisis.

Del mismo modo, las curvas de la dispersión espectral señalan que sólo se logran altos niveles de iluminación en una incidencia completamente directa, disminuyendo en los siguientes grados. Su empleo no se recomienda pues sacrifica el confort lumínico a pocos metros de la ventana.

## 5 RESULTADOS. FOTOMETRÍA DE LAS SUPERFICIES INTERIORES

Se puede observar en la figura inferior (Figura 9) los resultados que se obtienen a partir del análisis de los materiales antes referidos. La disminución del factor de luz diurna dentro de un espacio va en relación directa a la distancia con respecto a la ventana y al tipo de tratamiento al que fue sometido el material (humeado, textura, opaco, etc.).

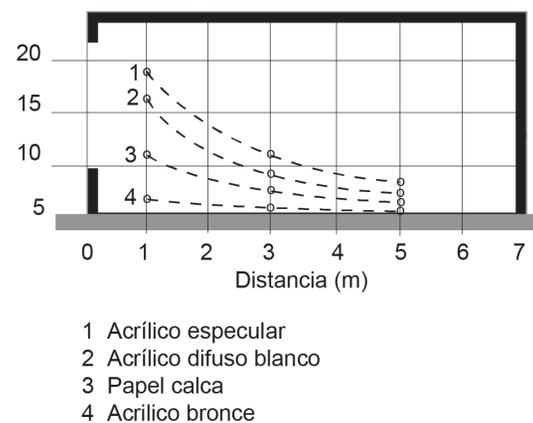
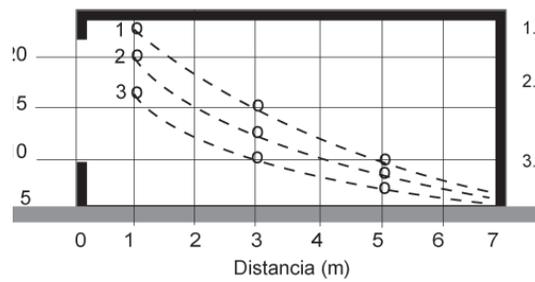


Figura 8. Fotometría interior de los diferentes materiales de vidriado. (Elaboración propia, 2012)



1. Muros, piso Techo 07
2. Plafond 07, Muros 05, Suelos 03
3. Muros, pisos y techos negros

**Figura 9.** Fotometría de los materiales de revestimiento.  
(Elaboración propia, 2012)

El factor de reflexión de la luz en un espacio depende ampliamente de los materiales de su construcción: muros, pisos y techos. Las consecuencias lumínicas debido al factor de reflexión de los muros deberán estar en relación directa al confort lumínico que tendrá dicho espacio.

Con la ayuda del programa informático GENELUX se comprueba la fotometría de los materiales de revestimiento sobre la distribución de la luz dentro de un volumen dado.

En la figura superior (Figura 10) se muestra la distribución lumínica (en curvas) de diferentes terminados. En dicho análisis se muestra que entre las curvas 2 y 3 existe una disminución del 20% en la parte próxima a la ventana y que en el fondo del espacio ambas disminuyen en un 100%.

## 6 DISCUSIÓN

La mitad de la iluminación disponible en el fondo del espacio es únicamente de las inter-reflexiones de la luz sobre las paredes, piso y techo. Si se comparan las curvas 1 y 2 (Figura 10), se aprecia que las cantidades de luz disponibles en el fondo de la pieza son del orden de la multiplicación por dos. O sea, que es la mitad de un espacio totalmente blanco. Ambas comparaciones muestran la importancia de considerar la fotometría de los materiales de revestimiento de cualquier espacio arquitectónico.

La cantidad y calidad de iluminación disponibles en el interior tiene directa relación con el factor de transmisión del vidrio, es decir, si el factor de transmisión es bajo, la dimensión de la ventana tendrá que ser mayor.

## 7 CONCLUSION

Este artículo presenta el análisis del desempeño lumínico natural debido a la influencia de la envolvente y de los acabados a través de materiales de vidrioado, así como los factores de reflexión en varios materiales de revestimiento interno.

Por lo anteriormente expuesto, se puede afirmar que en las diferentes dichas superficies internas, el comportamiento sería de la siguiente manera: Cielo raso (techo). En general, el techo no recibe iluminación natural de manera directa, no interviene de manera importante en la repartición de la luz. En cambio, en caso de desviar la luz hacia arriba (repisas de luz), recibe cierta cantidad que puede a su vez redistribuir en todo el espacio. En consecuencia, el factor de reflexión de esta superficie deberá ser elevada (0.7 - 0.8).

Piso (suelos). Antes que nada, conviene precisar de una manera general que las superficies de los pisos están raramente libres o despejadas. Así, el mobiliario y en especial las mesas (niveles) de trabajo, cubren gran parte de la superficie.

El análisis se centra en considerar los niveles de trabajo horizontales que son las que recibirán la cantidad de luz más importante y son en los que se pone mayor importancia al cuidar que no existan niveles altos de iluminación que provoquen discomfort por deslumbramiento.

Muros. Como se comprueba en las simulaciones, los muros que reciben iluminación tanto directa como difusa, juegan el papel más importante en el espacio arquitectónico al repartir dicha luz al interior. Como regla general, se puede decir que si el factor de reflexión de los muros es inferior a 0.5, la iluminación tendrá dificultades para desarrollarse en el fondo del espacio en cuestión (Figura 11).

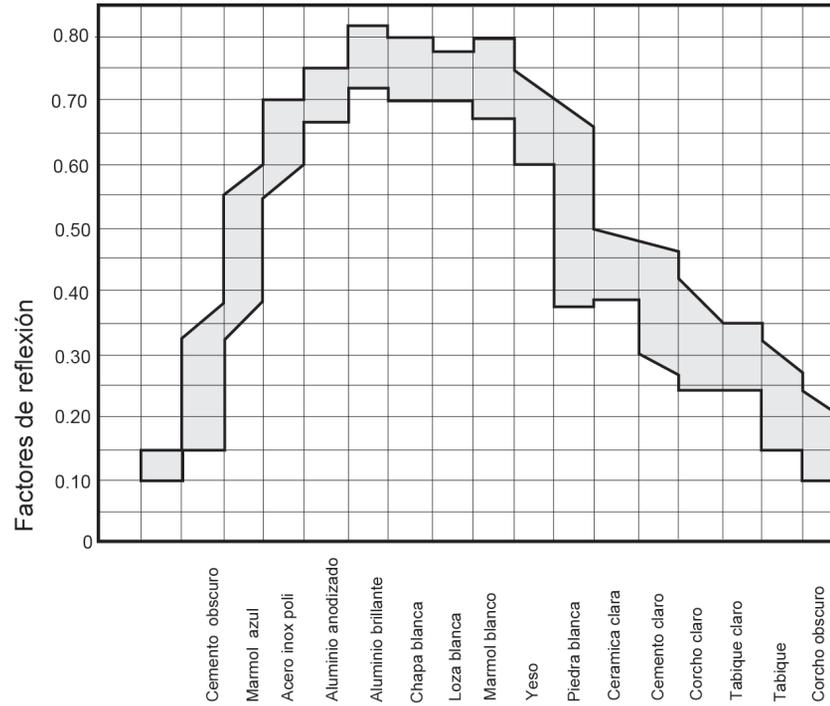


Figura 10. Factores de reflexión de materiales de revestimiento. (Fontoynt adaptado por vila)

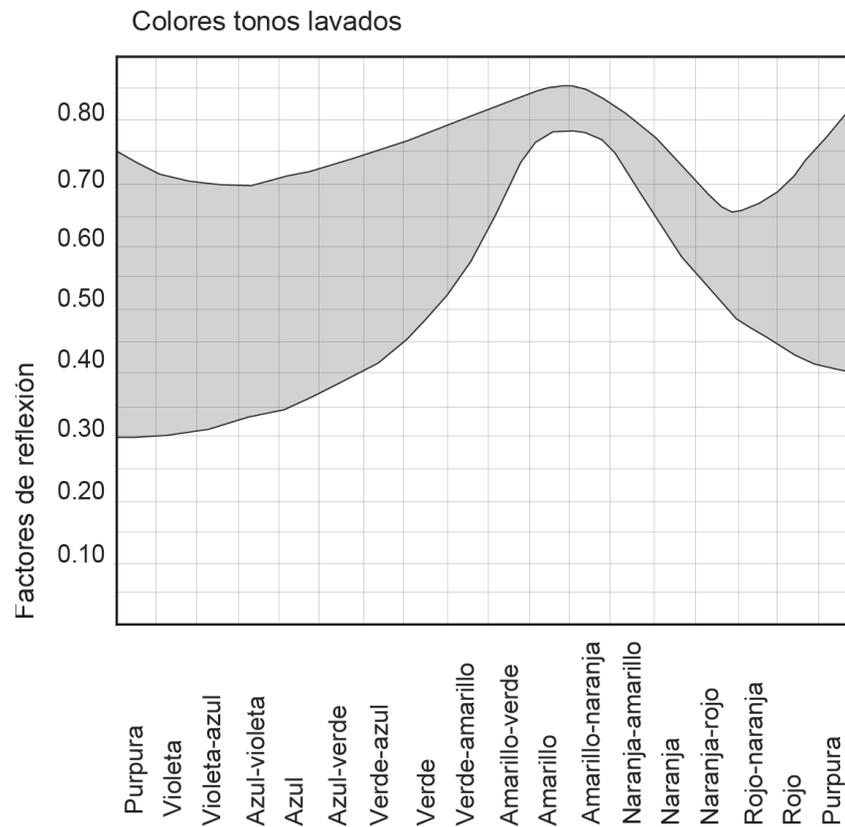


Figura 11. Factores de reflexión de materiales de revestimiento. (Fontoynt adaptado por Avila)

Por lo que respecta a la variedad de materiales disponibles en el mercado de la construcción, se transcriben aquí los resultados obtenidos en la Universidad Paul Sabatier (Fontoynt, 1995) en donde se puede comparar las características de cada uno de ellos. (Figura 12)

El resultado del análisis de desempeño lumínico en los diversos materiales empleados en la investigación muestran que:

El empleo de diferentes materiales en los vanos dispuestos a la iluminación amplía el rendimiento del flujo luminoso y evita el factor de deslumbramiento en las áreas destinadas para trabajos visuales.

Los factores de reflexión de los materiales de revestimiento interior incrementan el factor de luz diurna en las áreas distantes del vano.

Existe un mayor rendimiento luminoso en los espacios interiores si se disponen materiales de vidrio difusores tales como los esmerilados o materiales efímeros como el papel calca en las partes superiores de los vanos.

El factor de luz diurna depende directamente de la mayor o menor distancia en la que se realizó la medición.

Por lo anteriormente expuesto, puede asegurarse que para un adecuado ahorro energético en el consumo para la iluminación artificial, se hace necesario tomar en cuenta todas las variables que intervienen en la distribución del flujo luminoso. Desde la disposición del vano mismo (forma, tamaño, orientación, ubicación) hasta los elementos arquitectónicos que intervienen en el proceso: materiales, texturas, colores, proporciones, etc.

Cabe mencionar que la intención principal de esta investigación es aportar conocimientos y experiencia en relación con la sustentabilidad del ambiente construido. La divulgación del presente artículo es solamente una parte del total que comprende la amplia escala de sistemas constructivos y materiales que deben estar contemplados en un diseño ambientalmente adecuado.

## BIBLIOGRAFIA

ARIAS, Silvia y ÁVILA, David. *La iluminación natural en la arquitectura*. México: Editorial Universidad de Guadalajara, 2007. ISBN 968-8-95787-9

BAKER, N. y STEEMERS, K. *Daylight design of buildings*. London: James & James science publishers Ltd, 2002. ISBN 978-1-873936-7

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. *Spatial Distribution of Daylight—CIE Standard General Sky*, 2003. CIE Publication No. S 011/E:2003.

DILAURA, David y MISTRICK, Richard. *The IES Lighting Handbook*. USA: Illuminating Engineering Society, 2011. ISBN 9780879952419

FONTOYNONT, Marc. *Daylight performance of buildings*. France: James & James, 1995. ISBN 1-873936-87-7

HOPKINSON, R. G., PETHERBRIDGE, P. & LONGMORE, J. *Daylighting*. London: Heinemann, 1966.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY. *Light + Design - A Guide to Designing Quality Lighting for People and Buildings*. USA: American National Standards Institute, 2009. ISBN 978-0879952310

MOORE, Fuller. *Concepts and practice of Architectural Daylighting*. USA: Van Nostrand Reinhold, 1989. ISBN 978-0442006792

RUCK, N. C. *Building design and human performance*. USA: Van Nostrand Reinhold, 1989. ISBN 0-442-27847-0

Artículo  
Recibido 22-01-2015  
Aceptado 09-06-2015

# Evaluación a través del presupuesto de la energía incorporada al proyecto de edificación

## Evaluation of the embodied energy of a construction project using the budget

ANTONIO FREIRE GUERRERO, Departamento Construcciones II,  
Universidad de Sevilla, Sevilla, España \\  
antoniowebmix@hotmail.com

MADELYN MARRERO MELÉNDEZ, Departamento Construcciones  
II, Universidad de Sevilla, Sevilla, España \\  
madelyn@us.es

### Palabras clave:

Base de costes de la construcción, clasificación sistemática, presupuesto, energía embebida

### Keywords:

Construction cost database, systematic classification, budget, embodied energy

### RESUMEN

Conocido es el alto impacto ambiental que tiene la construcción de edificios. Para poder tomar decisiones que lo disminuyan este debe ser cuantificado desde la etapa de diseño por lo que es necesario contar con herramientas sencillas de implementar. En el sector son empleadas de forma generalizada las bases de costes, las que se presentan como vehículo de incorporación del impacto ambiental. Se utiliza el caso particular de la Base de Costes de la Construcción de Andalucía (BCCA) para demostrar, de forma estructurada, la incorporación de los costes energéticos (energía incorporada) en los presupuestos de los proyectos. De forma novedosa se propone también incluir los costes energéticos del alimento de los trabajadores durante su jornada laboral y su movilidad, los que pueden llegar a representar desde un 5% a un 20% del total. Por último, se evalúa la energía incorporada en los costes indirectos de la obra que pueden ser significativos y que suelen ser obviados en los análisis.

### ABSTRACT

The high impact of building construction on the environment is well known and should be assessed beginning in the design phase in order to be able to make decisions to reduce it. Therefore, simple and easily-implemented tools are necessary that evaluate the environmental impact of construction projects. Construction cost databases are widely used in the sector and can be utilized to incorporate environmental impact assessment. In particular, the case of the Andalusia Construction Costs Database is used to demonstrate a structured methodology in which energy costs (embodied energy) are included in project budgets. For the first time, it is also proposed that the energy costs associated with workers' food consumption and transportation during working hours be included, since these can represent from 5 to 20% of the total. Lastly, the embodied energy of indirect project costs is evaluated, which can be significant and are generally excluded from analyses.

## 1 INTRODUCCION

Es indudable la necesidad de mejora continua de los procedimientos y procesos constructivos en un panorama cada vez más global y competitivo. En esta tarea, los profesionales relacionados con el sector de la edificación se enfrentan a diario con una multitud de cuestiones durante la toma de decisiones, lo que plantea la necesidad de contar con instrumentos adecuados para llevar a cabo esta labor de manera eficaz, ordenada y con garantías.

Es en este marco donde encontramos los sistemas de clasificación de la información de construcción (SCIC) entre los que destacamos: MasterFormat (Construction Specifications Institute, 1983), Unifomat II (CSI, 1998), CESMM (Telford, 1991), CI / SFB (Jones, 1987) incorporado al estándar ISO (International Organization for Standardization, 1994), Uniclass (U.K. National Building specification Service Ltd, 1996) y OmniClass (OmniClass Construction Classification System, 2013).

El concepto básico en todos ellos es dividir un problema complejo en partes más simples que luego pueden ser agregadas, sin solapes ni repeticiones, para definir el desarrollo completo de los proyectos. En España las bases de costes de la construcción (BCC) poseen sus propios SCIC y su ámbito de implantación suele ser el entorno geográfico: PREOC y BPCM, en Madrid; ITEC, en Cataluña; CYPE, en Alicante; BDC-IVE, en Valencia; BDEU, en el País Vasco; PRECIOCENTRO, en Guadalajara y el BCCA, en Andalucía (Marrero y Ramírez, 2010).

Vinculando al concepto de coste, las bases se plantean como el vehículo ideal para cuantificar no sólo el valor económico sino ambiental y además como un elemento integrador, debido a su descomposición y jerarquía de precios, lo que posibilita introducir un proceso estandarizado.

Un indicador importante del impacto ambiental es el consumo de energía en la fabricación de productos y materiales para la construcción por lo que se promueve el empleo de materiales renovables, reciclables o reciclados, con reducciones en la energía incorporada en procesos que van desde la extracción de la naturaleza, fabricación y puesta a disposición en obra e incorporación final al edificio (Marrero et al, 2013). Por ello, la valoración y limitación del consumo energético en los proyectos de edificación se perfila como un elemento indispensable para alcanzar objetivos diferenciadores y cuantificables.

En este ámbito de actuación es donde se introduce la presente línea de trabajo, la inclusión de la cantidad de energía necesaria en cualquier componente de las unidades de obra: materiales, mano de obra y maquinaria, pues controlan significativamente la huella ecológica (Solis-Guzman, Marrero, Ramírez de Arellano, 2013, y González-Vallejo, et al. 2015) y las emisiones de CO<sub>2</sub> (Solis-Guzman, Martinez-Rocamora, Marrero, 2014).

Se propone incluir de forma novedosa la energía consumida tanto por los trabajadores, a través de su alimento y movilidad, como por las máquinas, a través del consumo de combustibles fósiles y electricidad (Freire y Marrero, 2014) para así determinar el coste de energía total, considerado como la suma del uso de sus unidades de obra. Los anteriores son generalmente llamados costes directos de ejecución.

Del mismo modo, existen los costes indirectos, no incluidos en las unidades de obra, como la electricidad y el agua consumida durante la ejecución de la obra, o los residuos generados (Figura 1).

En el método propuesto se emplea la BCCA donde participan –entre otros- los autores de esta investigación (Memoria BCCA, 2013) y que está en continuo desarrollo (Marrero y Ramírez de Arellano, 2010 y Marrero et al., 2014).

Se concretará la obtención de resultados mediante el análisis de varios precios, la determinación de la cantidad de energía incorporada y cómo puede trasladarse a niveles superiores como resultado del sumatorio de los niveles inferiores.

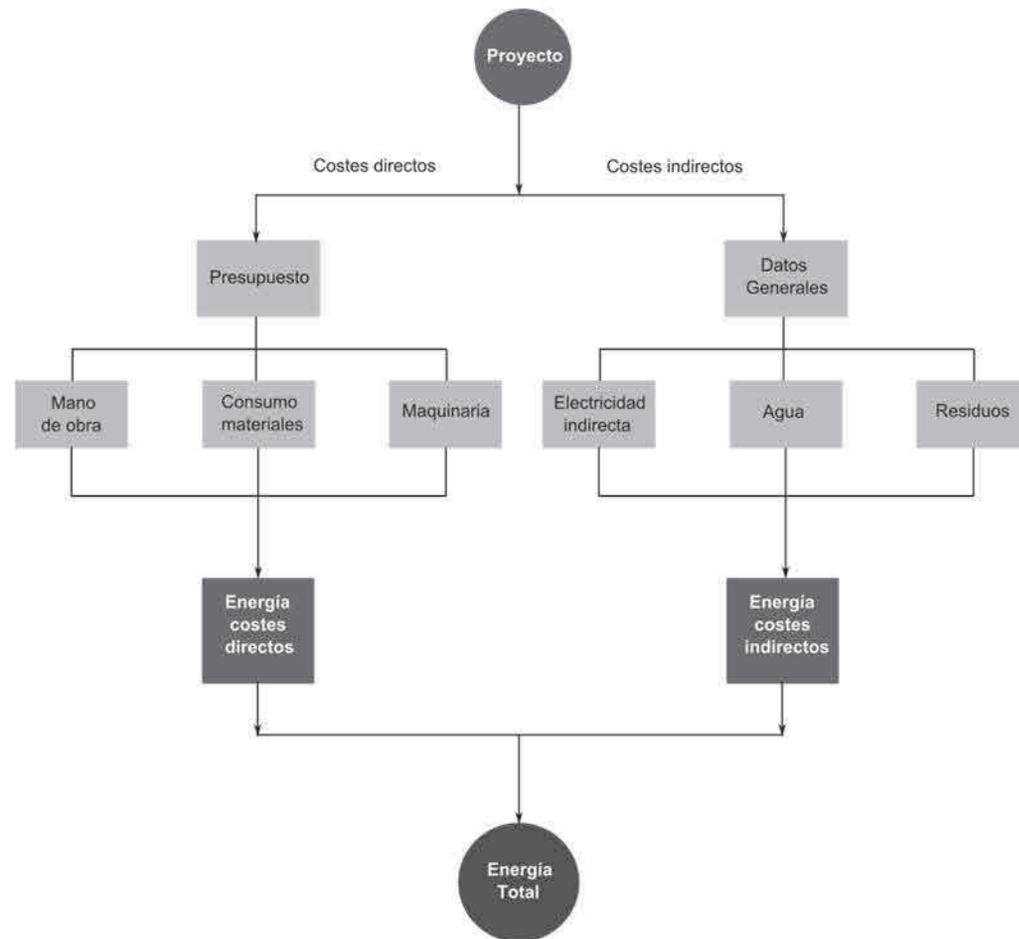


Figura 1. Diagrama de flujo para el cálculo de la energía consumida.

## 2 BASE DE COSTES DE LA CONSTRUCCIÓN DE ANDALUCÍA

El modelo de edificación en que se basa la estructura de costes de la BCCA es una obra de nueva planta, ubicada en una zona abierta, sin problemas de accesos, ni comunicaciones ni suministros en el solar, con una superficie construida cercana a los 5.000 m<sup>2</sup> y cuyo plazo de ejecución es de doce meses (Memoria BCCA, 2013).

En la figura 2 se muestra un edificio de características similares, una vivienda plurifamiliar.

La estructura de costes, que se muestra en la figura 3, está creada en virtud de una jerarquía de precios que, partiendo desde el nivel inferior con los precios de suministro (PSU), conectan directamente al mercado. Va creciendo mediante unión de los precios inferiores para conformar otros más complejos. Existen tres grandes grupos que, ordenados de menor a mayor, son:

**Precios básicos (PB)** distribuidos principalmente según tres naturalezas: maquinaria, mano de obra y materiales.

**Precios auxiliares (PA)** formados por la unión de PB con las cantidades adecuadas.

**Precios unitarios simples (PUS)** formados por la unión de PB exclusivamente o en combinación con PA.

En el vértice de la estructura se sitúan los importes de contrata (IC), que enlazan la información de carácter económico con los mercados de productos: edificios residenciales, oficinas, centros docentes, etc. Éste incluye el importe de ejecución material (IEM) y los costes exógenos (CE) que ocurren fuera de la obra pero que repercuten en el proyecto.

Todos los precios están expresados en una unidad de medida determinada que se acoge a los criterios establecidos en las bases españolas (FIEBDC, 2008). Además se han de definir criterios que puedan cuantificar la cantidad de unidades sujetas a dicho precio. Para ello, se establecen parámetros que faciliten dicha medición.



Figura 2. Imagen de viviendas dentro de la tipología modelo en el BCCA



Figura 3. Pirámide de precios (Marrero y Ramírez de Arellano 2010)

Código	UD	Descripción	x (m)	y (m)	z (m)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	kg/UD
RS06000	u	rodapié mármol blanco Macael 40x10 cm	0,4	0,1	0,015	2.800,00	1,68
RS06640	m	rodapié corcho barnizado 7 cm	1	0,07	0,01	500,00	0,35
RS07200	m2	solería linóleo 40x40 cm	1	1	0,01	1.200,00	12,00

Tabla 1. Ejemplo de homogeneización unidades de medición de precios básicos.

Los conceptos anteriormente descritos constituyen conjuntamente lo que se denomina epígrafe de un precio donde cada precio está formado por un código de números y letras, una unidad de medida particular y descripción breve de la partida o concepto, junto a su criterio de medición.

Todas estas características facilitan la incorporación del coste energético por familias de precios dentro de la clasificación sistemática y alfanumérica, y permite emplear las mismas ponderaciones de medición de las unidades de obra. Siguiendo la estructura jerarquizada, los PB y/o PA se unen para formar PU sumando sus costes económicos o energéticos, de acuerdo a su cuantía.

### 3 MÉTODO

#### Determinación del consumo energético de los materiales de construcción

El consumo energético en los procesos de los productos de consumo o, en términos medioambientales, su energía incorporada, se enfoca a través del análisis del ciclo de vida (ACV). Existe una definición generalmente aceptada, que se considera en el presente trabajo, y que es la energía que se necesitó en los distintos procesos necesarios. Desde la extracción de las materias primas, manufactura,

transporte y considerando la parte proporcional de la infraestructura necesaria para que lo anterior sea posible así como la parte proporcional de los equipos y maquinaria necesarios para todos esos procesos (Woolley, Kimmins y Harrison, 2005). Esto coincide con la definición de los materiales de construcción en el presupuesto de obra de la BCCA, cuyos materiales y productos están en disposición de ser incorporados al edificio.

Para la obtención de la energía incorporada por los productos de construcción de la cuna al sitio existen varias bases de datos de ACV y softwares (Mercader, 2010). Asimismo encontramos estudios, pequeñas bases de datos y publicaciones nacionales e internacionales que emplearemos en nuestro análisis (Mercader, 2010; Solís-Guzmán, 2011; Solís-Guzmán et al. 2013 y González-Vallejo, et al. 2015).

En la tabla 1 se muestran, a modo de ejemplo, PB de revestimientos junto a su descripción, unidad de medida (UD), código que pertenece a la familia revestimientos (R) y subfamilia suelos (S). El código facilita la identificación de las diversas materias primas y permite tanto su localización como el establecimiento de su grado de "parentesco" con el resto. La unidad de medida común de la cuantificación energética es el MJ/kg de producto. Por ello, se convierten todas las UD a kg. En la tabla 1, las columnas x, y, z facilitan

<b>Familia energética asimilada</b>	<b>(MJ/kg)</b>
Acero comercial (20% reciclado)	35,73
Acero inoxidable	177,00
Aditivo	93,00
Aluminio primario	192,14
Aluminio comercial (30 % reciclado)	188,92
Arcilla cocida, ladrillo y tejas	2,90
Arena - áridos	0,15
Asfalto en tela (oxiasfalto)	10,00
Barniz	100,00
Betún Asfáltico	44,12
Cal	3,87
Cartón-yeso	6,23
Cemento	5,56
Cerámica	2,36
Cobre primario	109,17
Corcho	3,94

Tabla 2. Energía incorporada en los materiales de construcción.

la obtención del volumen de material en cada PB y, junto a la densidad, permite obtener los kilogramos.

Para la aplicación de los consumos energéticos a los PB, se ha considerado lo que se denomina "Familias energéticas asimiladas". Es decir, la composición mayoritaria del material de construcción. La energía incorporada se establece partiendo de los datos usados en la tesis de Solís (2011) y Mercader (2010) (tabla 2).

#### Determinación del consumo energético de la mano de obra y maquinaria

Siguiendo la metodología de la huella ecológica (Solís-Guzmán, Marrero y Ramírez de Arellano, 2013 y González-Vallejo, et al. 2015) y de la huella de carbono (Solís-Guzmán, Martínez-Rocamora y Marrero, 2014) se propone incluir en el presupuesto energético no sólo los materiales de construcción sino también el consumo de energía de las máquinas en la obra y de la mano de obra a través de los alimentos y movilidad que en el caso de la huella puede llegar a representar desde un 5% hasta un 25%. Se toma la alimentación y su intensidad energética que se describe en Solís et al. (2013) y donde se obtiene que la energía de los alimentos por cada hora trabajada es de 50,91 MJ/h.

Para analizar la movilidad de los operarios, se establece que la obra está situada a una distancia de 30 km desde donde residen los operarios y que cuatro trabajadores compartirán un vehículo (Solís-Guzmán, Marrero y Ramírez de Arellano, 2013 y González-Vallejo, et al. 2015. Solís-Guzmán, Martínez-Rocamora y Marrero, 2014). La energía por hora de trabajador es 2,23 MJ/h, lo que sumado a los alimentos genera 53,14 MJ/h.

La unificación de todos los impactos relacionados con el trabajador se debe al objetivo final de este trabajo que es generar un presupuesto energético, considerando que es de relativa facilidad calcular las horas totales de trabajador y adaptar su consumo a las condiciones de alimentación y movilidad de la región donde se lleva a cabo la obra.

En el cálculo del consumo energético de la maquinaria, la tabla 3 muestra algunos ejemplos. Se emplean manuales de los equipos y bases de costes de la construcción (Freire y Marrero, 2014). En la maquinaria con motor de combustible, los litros de combustible consumidos dependen de la potencia del motor y de la intensidad energética del combustible empleado:

$$C = (\text{Pot} \times \text{TU} \times \text{Rend}) \times \text{IE} \quad (1)$$

Donde:

C: consumo (MJ).

Pot: potencia del motor de la maquinaria (kW).

TU: tiempo de uso de la maquinaria en los trabajos de obra (horas)

Rend: combustible consumido por el motor según sea gasoil o gasolina (l/kWh).

IE: intensidad energética (MJ/litros)

Para obtener el consumo de la maquinaria eléctrica se ha analizado la potencia de motor y los kWh totales consumidos:

$$C = (\text{Pot} \times \text{TU} \times \text{FC}) \quad (2)$$

Donde:

C: consumo (MJ).

Pot: potencia de la maquinaria empleada (kW).

TU: tiempo de uso de la maquinaria en los trabajos de obra (h)

FC: Factor de conversión para cambio de unidades (MJ/kWh)

<b>Maquinaria</b>	<b>Consumo Energía</b>	
	<b>l/h</b>	<b>MJ/h</b>
Camión bituminador	16,00	560,0
Compresor portátil diésel 12 bar	6,50	227,5
Excavadora hidráulica con cadenas 310 CV	16,00	560,0
Camión 10 T basculante	12,00	420,0
Motoniveladora 135 CV	17,00	595,0
Pisón vibrante 70kg	1,03	36,1
Vibrador	7,50	1,80
Hormigonera 250 l	1,00	35,0

Tabla 3. Ejemplo del consumo energético de algunas máquinas

### Costes indirectos

De forma innovadora se incorporan al análisis los costes indirectos, tomando como referencia la BCCA y sus códigos (tabla 4). Cada concepto se transforma en datos útiles para calcular la energía (horas anuales efectivas de trabajadores, consumo de combustible de la maquinaria, agua y electricidad en las casetas de obra, etc.).

Una vez transformados los datos iniciales de los costes indirectos en conceptos válidos para el cálculo de la energía consumida, el cómputo de la mano de obra y la maquinaria siguen el proceso comentado en los apartados anteriores, quedando por definir el consumo de energía eléctrica y agua en las casetas, la iluminación de la obra y las pruebas iniciales de servicio de las instalaciones. Para el consumo energético de las casetas, se ha tenido en cuenta lo recogido en la ITC-BT-10 (RD 842/2002, España, 2002) que establece un consumo de 0,10 kW/m<sup>2</sup> para usos de edificios comerciales y oficinas. Teniendo este dato y las horas totales de uso de las oficinas (se ha establecido la hipótesis de tomar 8 horas al día durante

5 días semanales y 52 semanas al año) se obtienen los kWh. Para la iluminación de la parcela se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo (RD 486/1997, España, 1997) con un nivel mínimo de iluminación de 100 lumen/m<sup>2</sup> o 0,0143 W/m<sup>2</sup> (lumen = 70 W).

Para determinar el consumo eléctrico de las pruebas de servicio de las instalaciones ejecutadas, han sido analizadas las facturas eléctricas de 30 proyectos facilitados por la compañía ENDESA, obteniendo los kWh totales consumidos por tipo de obra y superficie de parcela.

Comparando estos resultados empíricos con los obtenidos de los costes indirectos en una obra estudiada previamente (Solís-Guzmán, et al. 2013), aparece una descompensación de un 15%, la que se asigna a las pruebas de las instalaciones a la finalización del proyecto, 1,11 kWh por m<sup>2</sup> de parcela construida.

Código	Concepto	UD	Coeficientes		
<b>C12</b>	<b>Costes indirectos de ejecución (CIE)</b>		<b>Personal</b>		
<b>C121</b>	<b>Mano de obra indirecta</b>		<b>h/mes</b>		
C1211	Encargado	mes	127,08		
C1212	Capataces	mes	127,08		
C1213	Almaceneros	mes	127,08		
C1214	Guardería	mes	127,08		
<b>C122</b>	<b>Medios auxiliares</b>		<b>Personal</b>		
C1221	Mano de Obra Auxiliar		<b>h/m<sup>2</sup></b>		
C12211	Personal transporte interior	m <sup>2</sup>	0,02		
C12212	Personal de limpieza general y regado	m <sup>2</sup>	0,05		
C12213	Recogida y transporte de útiles y herramientas	m <sup>2</sup>	0,04		
C1223	Maquinaria, Útiles y Herramientas		<b>Personal</b>	<b>Eléctrico</b>	<b>Combustible</b>
C12231	Medios de Elevación		<b>h/mes</b>	<b>kWh/mes</b>	<b>l/mes</b>
C122311	Grúa	mes	127,08	1.525,00	
C122313	Manipulador telescópico	mes	101,67		1.830,00
C122314	Plataformas elevadoras	mes	101,67	305,00	
C122315	Montacargas	mes	101,67	305,00	
C12232	Hormigoneras	mes	101,67	149,450	
C12233	Cortadoras	mes	101,67	162,667	
<b>C123</b>	<b>Instalaciones, accesorias y complementarias</b>		<b>Personal</b>	<b>Eléctrico</b>	<b>Agua</b>
C1231	Casetas de obra		<b>h/u</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup></b>	<b>m<sup>3</sup> agua/m<sup>2</sup> caseta</b>
C12311	Oficinas	m <sup>2</sup>		208,00	0,16
C12312	Sala de Reuniones	m <sup>2</sup>		208,00	
C12313	Almacenes	m <sup>2</sup>		208,00	0,16
C12321	Acometida de Electricidad	u	32,82		
C12322	Acometida de Agua y Saneamiento	u	6,56		
C12323	Tendido Eléctrico	u	21,88		
<b>C124</b>	<b>Personal</b>		<b>Personal</b>		
C1241	Técnicos Adscritos a la Obra		<b>h/mes</b>		
C12411	Jefe de Obra	mes	127,08		
C12412	Jefe de Producción	mes	127,08		
C12413	Técnicos Auxiliares	mes	127,08		
C1242	Administrativos adscritos permanentemente a la obra	mes	127,08		
<b>C125</b>	<b>VARIOS</b>		<b>Eléctrico</b>		
C1251	Gastos de Oficinas y Almacenes de Obra		<b>kWh/m<sup>2</sup></b>		
C12511	Gastos de Oficinas	mes			
C1253	Otros				
C12531	Iluminación	m <sup>2</sup>		1,49	
C12532	Pruebas de Servicio de Instalaciones	m <sup>2</sup>		1,11	
C1234	Consumos	u			

Tabla 4. Costes indirectos en términos necesarios para calcular la energía

De forma también novedosa, se predice el consumo de agua basado en el consumo de las casetas de obra, con una energía incorporada de 0,006 MJ/m<sup>3</sup>. Para obtener el agua de los aseos y vestuarios instalados en obra se ha analizado el Código Técnico (RD 314/2006, España, 2006) que establece un consumo de agua caliente sanitaria por persona y día, y que se ha incrementado un 25% para incluir los inodoros. Considerando el número de empleados y días trabajados se obtienen además los litros totales. Aquí no se incluye la energía del agua como material de construcción, ya que forma parte de los costes directos.

#### 4 PRESENTACIÓN DE LOS CASOS

A continuación se muestra un breve proyecto para reforma de una zona de cubierta. Las características de las obras son las siguientes:

Duración estimada: 3 meses.

##### Superficies de obra:

Muro construido: 525 m<sup>2</sup>.

Cubierta demolida: 180 m<sup>2</sup>.

Forjado y cubierta construida: 180 m<sup>2</sup>.

##### Costes Indirectos Estimados:

Jefe de Obra durante todo el proyecto.

Mano de obra auxiliar.

Manipulador Telescópico durante un mes de obra.

Casetas de obra: 15 m<sup>2</sup> de almacén.

Iluminación de la zona de trabajo.

El presupuesto está formado por cinco PU, listados en la tabla 8. El primero, pertenece al capítulo de Demoliciones y el segundo, al de Estructuras (se muestra su descomposición en la tabla 5 y la construcción de este tipo de forjado, en la figura 4). El tercero pertenece a Albañilería, en cuya descomposición aparece un PA, AGM00800, que ha de calcularse separadamente (tabla 6). El cuarto capítulo que se incluye es Cubiertas, que tiene en su descomposición varios PA y algunos PB, para lo que se repite el procedimiento anterior. Y finalmente el quinto, donde aparece un precio del capítulo de Gestión de Residuos.

Código	Ud	Concepto	Q (Ud)	(MJ/Ud)	(MJ)
<b>05FBB00027</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Forjado reticular con bloques de poliéster y hormigón. (HA-30)</b>			
TO02100	h	oficial 1 <sup>a</sup>	0,44	53,140	23,38
TO00600	h	oficial 1 <sup>a</sup> ferrallista	0,24	53,140	12,75
TP00100	h	peón especial	0,55	53,140	29,23
CM00600	U	panel metálico 50x50 cm	0,07	260,83	18,26
CM00200	m <sup>3</sup>	madera de pino en tabla	0,003	1.346,00	4,04
CM00300	m <sup>3</sup>	madera de pino en tablón	0,003	1.346,00	4,04
CH80020	m <sup>3</sup>	hormigón ha-30/p/20/IIa, suministrado	0,19	6.209,97	1.148,85
CE00200	U	puntal metálico de 3 m	0,01	34,06	0,34
CB00400	U	bloque reticular de poliestireno 0,60x0,60 m	2,00	255,19	510,39
CA00620	kg	acero electrosoldado MES00T en malla	1,32	35,73	47,16
CA00320	kg	acero B500S	9,36	35,73	334,43
MV00100	h	vibrador	0,15	1,80	0,27
WW00300	U	material complementario o piezas especiales	1,00	10,00	10,00
WW00400	U	pequeño material	1,00	10,00	10,00
<b>Total</b>					<b>2.153,14</b>

Tabla 5. Cuantificación de consumo energético en precios unitarios descompuestos.

Tabla 5. Cuantificación de consumo energético en precios unitarios descompuestos.



Figura 4. Ejemplo de estructura de forjado reticular

Código	Ud	Concepto	Q	(MJ/Ud)	(MJ)
<b>AGM00800</b>	<b>m3</b>	<b>Mortero de cemento m5 (1:6) cem II/a-l 32,5 n + plastificante</b>			
TP00100	h	peón especial	1,03	53,140	54,73
GC00200	t	cemento II/a-l 32,5 n en sacos	0,258	5.560,00	1.434,48
AA00300	m3	arena gruesa	1,102	247,50	272,75
GW00100	m3	agua potable	0,263	50,00	13,15
GA00200	l	plastificante	1,288	100,44	129,37
<b>Total</b>					<b>1.904,48</b>

Tabla 6. Cuantificación de consumo energético en precios unitarios descompuestos. Precios Auxiliares.

CÓDIGO	CONCEPTO	UD	MJ		
			Personal	Electric.	Combust.
<b>C122</b>	<b>MEDIOS AUXILIARES</b>				
C1221	Mano de Obra Auxiliar				
C12211	Personal transporte interior	180 m <sup>2</sup>	235,17		
C12212	Personal de limpieza general y regado	180 m <sup>2</sup>	435,23		
C12213	Recogida y transporte de útiles y herramientas	180 m <sup>2</sup>	390,83		
C1223	Maquinaria, Útiles y Herramientas				
C122313	Manipulador telescópico	1 mes	5.402,56		64.050,00
<b>C123</b>	<b>INSTALACIONES, ACCESORIAS Y COMPLEMENTARIAS</b>				
C12313	Almacenes	15 m <sup>2</sup>		8.370,88	
<b>C124</b>	<b>PERSONAL</b>				
C12411	Jefe de Obra	3 mes	6.753,21		
<b>C125</b>	<b>VARIOS</b>				
C12531	Iluminación	180 m <sup>2</sup>		2.941,12	
	<b>TOTAL</b>		<b>13.216,98</b>	<b>11.312,00</b>	<b>64.050,00</b>

Tabla 7. Cuantificación de consumo energético de los costes indirectos

## 5 RESULTADOS

Los costes indirectos se recogen en la tabla 7, donde serán convertidos en unidades de personal, consumo de electricidad y combustible.

El coste energético del proyecto corresponde al sumatorio de las cantidades de energía de cada uno de sus PU multiplicados por su correspondiente medición (Q) en las unidades correspondientes (UD) (tabla 8). La mano de obra representa el 8,05% del consumo y los costes indirectos un 12,38%.

El procedimiento establecido y la metodología propuesta se adaptan a cualquier de precio de la BCCA. Permite el cálculo de la energía consumida de cada una de las partidas y de la energía total de cualquier proyecto de edificación con la simple repetición del método en cada uno de sus precios unitarios.

Código	UD	Concepto	(MJ/UD)	Q	Energía (MJ)
01QTH0003	m <sup>2</sup>	Demolición azotea transitable sobre hormigón aligerado, carga mecánica	45,94	180,00	8.269,20
05FBB 00027	m <sup>2</sup>	Forjado reticular con bloque de poliéster	2.153,14	180,00	387.565,20
06BHH 00020	m <sup>2</sup>	Fábrica 15 cm de bloque de hormigón	244,85	525,00	128.546,25
07HTF 00021	m <sup>2</sup>	Faldón azotea transitable invertida	568,172	180,00	102.270,96
17RRR00220	m <sup>3</sup>	Retirada residuos mixtos a planta valorización 15 km	2,42	91,70	221,91
				C.D.	626.873,52
				C.I.	88.578,98
					<b>715.452,50</b>

Tabla 8. Cuantificación de consumo energético de los precios unitarios del proyecto

## 6 CONCLUSIONES

Se ha comprobado que es posible la evaluación del impacto ambiental de los proyectos de edificación a través de su presupuesto. La novedad de este trabajo radica en cómo traducir al técnico a pie de obra los conceptos ambientales, más concretamente, la energía incorporada.

La presente propuesta comienza en la filosofía del presupuesto del proyecto, ampliamente estudiado y evaluado por los técnicos, y se aplica la energía incorporada siguiendo las estructuras jerarquizadas normalmente empleadas en los bancos de costes de la construcción en todo el mundo. Finalmente, se demuestra que es posible incorporar de manera sencilla este indicador ambiental, de la misma manera en que se evalúa el coste en un presupuesto.

La introducción de la metodología propuesta en los bancos de costes de la construcción puede integrar en un mismo instrumento dos procesos de contabilización diferentes, el económico y el ambiental (a través de la evaluación de la energía incorporada) posibilitando así a los agentes intervinientes, la toma de decisiones tanto a nivel económico, principal argumento de la utilización de las bases de costes de construcción, hasta el momento, y a nivel medioambiental.

Al comienzo de este trabajo se planteó el desafío de encontrar un procedimiento adecuado para calcular los consumos energéticos de los materiales de construcción y poder incluirlos en los presupuestos. Esto se realiza con una propuesta flexible, orientada a cambios futuros en la elección de las hipótesis de partida, de los datos de las fuentes utilizadas o de los criterios y especificaciones técnicas de los materiales escogidos. Es posible la clasificación de los precios básicos y de los materiales en función de la asignación de familias energéticas.

Se ha abordado la energía incorporada en los proyectos desde una perspectiva presupuestaria, en la que se evalúan por separado los costes directos (mano de obra, maquinaria y materiales) y por otro, los consumos indirectos, como son las casetas de obra, el agua y la electricidad, no dejando fuera de la evaluación ningún elemento necesario en la ejecución de la obra.

Las limitaciones principales del método propuesto son dos. En primer lugar, que no sustituye un análisis del ciclo de vida del edificio, ya que no sigue las mismas hipótesis de partida sino que trasforma el presupuesto económico en uno que incorpora aspectos ecológicos y, en segundo lugar, que no incluye otros aspectos también importantes como la huella hídrica, de carbono o ecológica.

En trabajos futuros, con el mismo procedimiento planteado, se calcularán las emisiones de CO<sub>2</sub> aplicando a los MJ calculados sus correspondientes factores de emisiones, los que dependen de la fuente energética y finalmente, obtener la huella de los proyectos. Los resultados son aplicables en un futuro próximo, cuando sean incorporados a la base de costes regional, en la que trabajan los autores.

## 7 AGRADECIMIENTOS

Ministerio de Innovación y Ciencia de España, por la concesión del proyecto I+D+i: Evaluación de la huella ecológica de la edificación del sector residencial en España (EVALHED). 2012-2014.

Fundación Mapfre. Ayudas a la Investigación Ignacio H. Ilarramendi. "Estudio de la Huella ecológica de la transformación del uso del suelo". 2014.

## BIBLIOGRAFÍA

- CONSTRUCTION SPECIFICATIONS INSTITUTE., & CONSTRUCTION SPECIFICATIONS CANADA. Masterformat: Master list of section titles and numbers. Alexandria, VA: Construction Specifications Institute (1983).
- CONSTRUCTION PROJECT INFORMATION COMMITTEE (CPIC). UNICLASS: *Unified Classification for the Construction Industry*. London. U.K. (1997).
- CONSTRUCTION SPECIFICATIONS INSTITUTE, AND CONSTRUCTION SPECIFICATIONS CANADA UNIFORMATTM: *A Uniform Classification of Construction Systems and Assemblies*. Alexandria, Virginia: Construction Specifications Institute and Construction Specifications Canada (1998).
- DOMENECH, J.L. *Huella Ecológica y Desarrollo Sostenible*. Madrid, Spain. AENOR, 2007. 400p.
- FORMATO DE INTERCAMBIO ESTÁNDAR DE BASES DE DATOS PARA LA CONSTRUCCIÓN - FIEBDC. *Definición del Formato de Intercambio Estándar de Bases de Datos de la Construcción* [en línea]. Madrid. <<http://www.fiebdc.org/index2.html>> [consulta: 21 enero 2015]
- FREIRE-GUERRERO, A. y MARRERO-MELÉNDEZ, M. 2014. *Analysis of the ecological footprint produced by machinery in construction*. En: World Sustainable Building 14 (Barcelona, 28 y 30 de octubre 2014). Barcelona, España.
- GONZÁLEZ-VALLEJO, P., MARRERO, M., SOLÍS-GUZMÁN, J. *The ecological footprint of dwelling construction in Spain*. Ecological Indicators 52: 75-84, 2014.
- INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS. CESMM4: *Civil Engineering Standard Method of Measurement*. 3ª Ed. Reino Unido, Thomas Telford LTD, 1991. 136p.
- INSTITUT TECNOLÒGIC DE EDIFICACIÓ DE CATALUNYA - ITEC. *Programa para los proyectos y obras de construcción – TCQ*. [en línea] <<http://www.itec.es/programas/tcq/>> [consulta: 21 enero 2015]
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. *Classification of information in the construction industry*. ISO/TR 14177. Oslo, Norway. 1994.
- JONES, A. R.. *CI/SfB Construction indexing manual*. 3ª Ed. London, Royal Institute of British Architects (RIBA) Publications Ltd., 1976. London, U.K. 216p.
- JUNTA DE ANDALUCÍA. *MEMORIA BASE DE COSTES DE LA CONSTRUCCIÓN DE ANDALUCÍA* [en línea]. Sevilla. <<http://www.juntadeandalucia.es/fomentoyvivienda/portal-web/web/areas/vivienda/texto/b28c72fc-4818-11e2-804b-e3c3905d6ca6>> [consulta: 21 enero 2015].
- MARRERO M. *Minimización del Impacto Ambiental en la Ejecución de Fachadas Mediante el Empleo de Materiales Reciclados*. Informes de la Construcción 65 (529): 89-97. 2013.
- MARRERO, M. y RAMÍREZ DE ARELLANO, A. The building cost system in Andalusia: application to construction and demolition waste management. *Construction Management and Economics* 28: 495–507, 1998.
- McDONOUGH, W. y BRAUNGART, M. *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. Estados Unidos, North Point Press, 2002. 193p.
- MERCADER, M. *Cuantificación de los Recursos Consumidos y Emisiones de CO2 Producidas en las Construcciones de Andalucía y sus Implicaciones en el Protocolo de Kioto*. Tesis (Doctoral). Sevilla, España. Universidad de Sevilla, Departamento de Construcciones Arquitectónicas, 2010.
- MERCADER P. *Cuantificación de los recursos materiales consumidos en la ejecución de la Cimentación*. Informes de la Construcción 62 (517): 125-132. Enero-marzo, 2010.
- MINISTERIO DE VIVIENDA DE ESPAÑA. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. [en línea]. Madrid. <http://www.csd.gob.es/csd/estaticos/inst-dep/armonizacion-juridica/013.pdf> [consulta: 21 enero 2015].
- MINISTERIO DE EMPLEO Y SEGURIDAD SOCIAL DE ESPAÑA. Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. BOE nº 97 23-04-1997. [en línea].Madrid. <http://www.insht.es/portal/site/Insht/menuitem.1f1a3bc79ab34c578c2e8884060961ca/?vgnextoid=e0b917815b2d5110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD&vgnnextchannel=ff3cc6b33a9f1110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD&tab=tab> ConsultaCompleta [consulta: 21 enero 2015].
- MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ESPAÑA. Real Decreto 842/ 2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión. [en línea]. Madrid <http://www.boe.es/boe/dias/2002/09/18/pdfs/A33084-33086.pdf> [consulta: 21 enero 2015].
- OMNICLASS CONSTRUCTION CLASSIFICATION SYSTEM – OCCS. *OmniClass Construction Classification System* [en línea] Canadá <<http://www.omniclass.org/>> [consulta: 21 enero 2015].
- MARRERO M. *Schedule and Cost Control in Dwelling Construction Using Control Charts*. The Open Construction and Building Technology Journal 8: 63-79. 2014.
- SOLÍS-GUZMÁN, J. *Evaluación de la huella ecológica del sector edificación uso residencial en la comunidad andaluza*. Tesis (Doctoral). Sevilla, España. Universidad de Sevilla, Departamento de Construcciones Arquitectónicas, 2010.
- SOLÍS-GUZMÁN, J., MARRERO, M., RAMÍREZ DE ARELLANO, A. *Methodology for determining the ecological footprint of the construction of residential buildings in Andalusia (Spain)*. Ecological Indicators. 25, 239-249, 2013.
- SOLÍS-GUZMÁN, J., MARTÍNEZ-ROCAMORA, A., MARRERO, M. *Methodology for determining the carbon footprint of the construction of residential buildings*. En: Muthu, S.S. (Ed). *Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors*, 1. Singapur, Springer Science + Business Media, 2014. 49-83.
- WOLLEY P. *Green Building Handbook: Volume 1: A Guide to Building Products and their Impact on the Environment*. United Kingdom, Taylor & Francis Group, 2005. 382p.

Artículo  
 Recibido 20-09-2014  
 Aceptado 24-02-2015

# Análisis de los criterios de movilidad y desarrollo de zonas verdes como factores de sustentabilidad en la implantación urbana de la Universidad de Sevilla (España)

Analysis of mobility and development criteria for green areas as sustainability factors in the urban insertion of the University of Seville, Spain

ALEXIS PÉREZ FARGALLO, Universidad de Sevilla, Sevilla, España \ alexisfargallo@us.es

VICENTE FLORES ALÉS, Universidad de Sevilla, Sevilla, España \ vflores@us.es

LUCAS ARIZA PARRAD, Universidad de los Andes, Sevilla, España \ lucasariza1982@gmail.com

**Palabras clave:**

Expansión urbana, planificación, centro, ciudad universitaria

**RESUMEN**

El artículo analiza la integración de la Universidad de Sevilla, como organismo disperso en la ciudad, desde la óptica de la sustentabilidad.

Las actividades universitarias deben dar lugar a hábitats desarrollados a partir de un objetivo de calidad urbana y con una voluntad de integración en la ciudad, dando lugar a una puesta en valor del entorno donde se ubican.

El análisis del modelo de una universidad con una estructura dispersa desarrollada a lo largo de la historia, permite analizar las ventajas e inconvenientes que surgen, tanto en la propia institución como en el espacio urbano que la acoge y a su área de influencia. La disponibilidad de espacios públicos, la accesibilidad y la movilidad en el entorno de los centros universitarios son analizadas desde una visión de sustentabilidad para establecer un diagnóstico que genere una mejor planificación.

**Keywords:**

Urban expansion, planning, center, university campus

**ABSTRACT**

This paper analyzes the sustainable integration of the University of Seville in the urban layout. University activities must generate high quality spaces and environments, while preserving the architectural and cultural value of the city. The analysis of this university model with a dispersed structure developed over centuries makes it possible to critically review the advantages and disadvantages for the institution, its surroundings and the city. The availability of public spaces, accessibility, and mobility around university centers are analyzed from the point of view of sustainability in order to produce guidelines for better architectural planning in the future.

## 1 INTRODUCCION

Desde la fundación de las universidades bajo premisas similares a las que hoy conocemos, la integración de estas en los espacios urbanos, como centros educativos y culturales, ha supuesto una relación compleja en cuanto generan hábitats de gran afluencia de personas que han debido adaptar su morfología y funcionamiento, dependiendo del lugar y la época.

A partir de la creación de las universidades modernas más antiguas como Bolonia, París u Oxford, la implantación de edificios universitarios en las ciudades ha sido una constante. La Universidad de Sevilla (en adelante la US), fundada en 1505 (Aguilar, 1991), se va desarrollando a lo largo del tiempo sin un ordenamiento preestablecido. Perceptible en la ausencia de un campus universitario, se estructura y vincula al "organismo de la ciudad" configurándose como un modelo urbano (Rubio, 2002) con la particularidad de que ha mantenido ese modelo de espacios dispersos en toda la extensión de la trama urbana de la ciudad hasta nuestros días.

La forma de desarrollo de las instituciones universitarias ha permitido dos clasificaciones: según su localización territorial o urbana (Campos, 2000), o en función a la relación ciudad-universidad (Vilagrasa, 2001). Así encontramos ciudades universitarias -basadas en el aislamiento y la autonomía-, zonas universitarias urbanas concentradas, universidades urbanas dispersas y campus universitario.

Debido a las características de Sevilla y al proceso de desarrollo que ha tenido la universidad, se ha generado un modelo mixto de asentamiento disperso con elementos de carácter sectorial y con algunos núcleos relacionados por áreas afines de conocimiento.

**Área central:** Edificio Central y Campus de Ramón y Cajal (Servicios Centrales, Humanidades, Jurídico-Económico y Ciencias de la Educación).

**Área norte:** Campus de Macarena (Medicina, Odontología, Ingeniería y otros).

**Área sur:** Campus de Reina Mercedes (científico-técnico).

**Centros dispersos:** Ingenieros, Ciencias de la Comunicación, Ingeniería Agrícola, Bellas Artes y otros.

A su vez, el desarrollo urbano y, en algunos casos, la expansión metropolitana de las ciudades se encuentran directamente influidos por la progresiva implantación de la universidad.

En el caso de la evolución de la ciudad de Sevilla hay casos muy concretos de dicha influencia determinante en la configuración de la Universidad. Posiblemente, el área más claramente influida sea el sector sur, conformado en torno al campus científico-técnico que se implanta a mediados de los años sesenta en los suelos que en su día albergaron la Exposición Iberoamericana de 1929.

Tradicionalmente, las universidades se localizaban en centros urbanos, con relativa compacidad y sede única. El caso de la US sigue este modelo hasta mitad del siglo XX cuando debido a las necesidades de crecimiento comienza el proceso de diseminación, adaptándose a la realidad de su entorno y este, a su vez, a las exigencias de los propios centros educativos y la comunidad universitaria (Miralles-Guasch, 2010).

Así, la universidad ha ido encontrando en el hábitat urbano, servicios y actividades que requería para su funcionamiento a la vez que ofrece a la ciudad espacios semipúblicos culturales, deportivos y de conocimiento, creando una sinergia beneficiosa para la población universitaria y no universitaria (Andrés-Sarasa, 2000).

Se crea así un modelo policéntrico que integra los equipamientos docentes en el desarrollo del espacio urbano. Todo ello determina la configuración y evolución de las infraestructuras relacionadas con la movilidad y plantea una demanda de espacios públicos en consonancia con la naturaleza urbana de las zonas de implantación.

Actualmente, la US cuenta con 32 centros de los cuales 17 son facultades, 4 son escuelas técnicas superiores y 11 escuelas universitarias. La universidad imparte 158 titulaciones y en el año 2013 acoge a 55.661 estudiantes. En ella trabajan 4.514 profesores e investigadores y 2.486 empleados de administración y servicios ("La US en cifras", 2013). El computo total es el 9% de la población de Sevilla, un porcentaje de tal dimensión introduce pautas de comportamiento distintas a las convencionales en la ciudad, demandando una tipología de servicios urbanos adecuado a sus necesidades.

## 2 OBJETIVOS - DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

El objetivo de esta investigación es analizar la situación global de la universidad con relación a los sistemas de movilidad y de espacios libres como elementos determinantes en la política general de sustentabilidad de la ciudad (Chambers, 2009; Cortese, 1999; Nicolaidis, 2006). Considera la relevancia cuantitativa de la población universitaria y la influencia que suponen la dispersión de los diferentes centros universitarios, aspectos que hacen que la movilidad del personal vinculado a los mismos influya de manera importante al hábitat de la ciudad.

A partir de este análisis se pasa a discutir las ventajas e inconvenientes que dicho modelo plantea a la trama urbana en la que se inserta, así como las iniciativas que la propia universidad propone.

## 3 METODOLOGIA

La metodología se ha basado en una contextualización histórica, un análisis de movilidad y otro de espacios verdes. La contextualización histórica es fundamental para comprender la evolución del hábitat urbano de Sevilla y su universidad, ayudando al entendimiento de los actuales problemas de transporte y de espacios verdes. El análisis de movilidad se focaliza extendiéndose a determinadas zonas del área metropolitana, cuya presión sobre la ciudad se entiende lo suficientemente compleja como para incluirlas en el contexto de estudio.

Para el análisis se han estudiado en profundidad los datos de dos de los campus con mayor número de usuarios (Reina Mercedes y Ramón y Cajal). Los datos analizados han sido cuatro: lugar de residencia, tipo de residencia, medio de transporte usado para llegar al campus, así como la influencia de la red de transporte público cercana en la elección del tipo de transporte seleccionado. La valoración de espacios verdes combina los generados por la propia universidad y los que la ciudad, de manera directa o indirecta, pone al servicio de la institución. Para evaluar el impacto recíproco de ambos sistemas se han analizado la distribución urbana de los centros universitarios en el hábitat urbano, el tipo de universidad y el servicio asociado a cada zona urbana, concluyendo con un análisis de superficie libre por habitante relacionada con el número de centros universitarios por zona urbana.

## 4 SEVILLA Y LA UNIVERSIDAD. SU EVOLUCIÓN HISTÓRICA.

En el proceso de formalización de la estructura urbana de la ciudad de Sevilla, a lo largo del tiempo se han ido generando zonas claramente diferenciadas en función de los criterios de evolución y ocupación del territorio. En virtud de este proceso se van estableciendo los diferentes sistemas, entre los que se incluye la Universidad.

Desde un punto de vista histórico, el asentamiento de la ciudad viene condicionado por el río Guadalquivir, a lo largo del cual se va configurando la urbe amurallada. Los primeros desarrollos se generan a partir del sistema de puertas de la muralla, ocupando el suelo rural del entorno de la ciudad.

Se puede considerar que la Universidad, desde su fundación en 1505, permanece ajena a estas circunstancias, asentándose en pleno casco histórico (Colegio-Universidad de Santa María de Jesús). Esta situación llega hasta el siglo XX, con unos edificios centrales que acogen el conjunto de centros universitarios existentes en esos momentos. Las dos sedes principales fueron la antigua casa profesa de la Compañía de Jesús, sede hoy de la Facultad de Bellas Artes, y la Real Fábrica de Tabacos, edificio del siglo XVIII al que se trasladó la Universidad a mediados del siglo XX (Tejido, 2002) y que actualmente alberga los centros de humanidades y el rectorado universitario.

Al final de la década de los cuarenta se produce la primera segregación fuera del casco histórico con el traslado de la Facultad de Medicina a la zona norte de la ciudad buscando la proximidad del gran centro hospitalario de la ciudad. En la década de los sesenta se crean las Escuelas Técnicas Superiores de Arquitectura e Ingenieros Industriales, iniciando la configuración del campus conocido como "Reina Mercedes" en el sector sur de la ciudad. En la década siguiente se crean los estudios de Económicas, siendo este centro el precedente del campus "Ramón y Cajal".

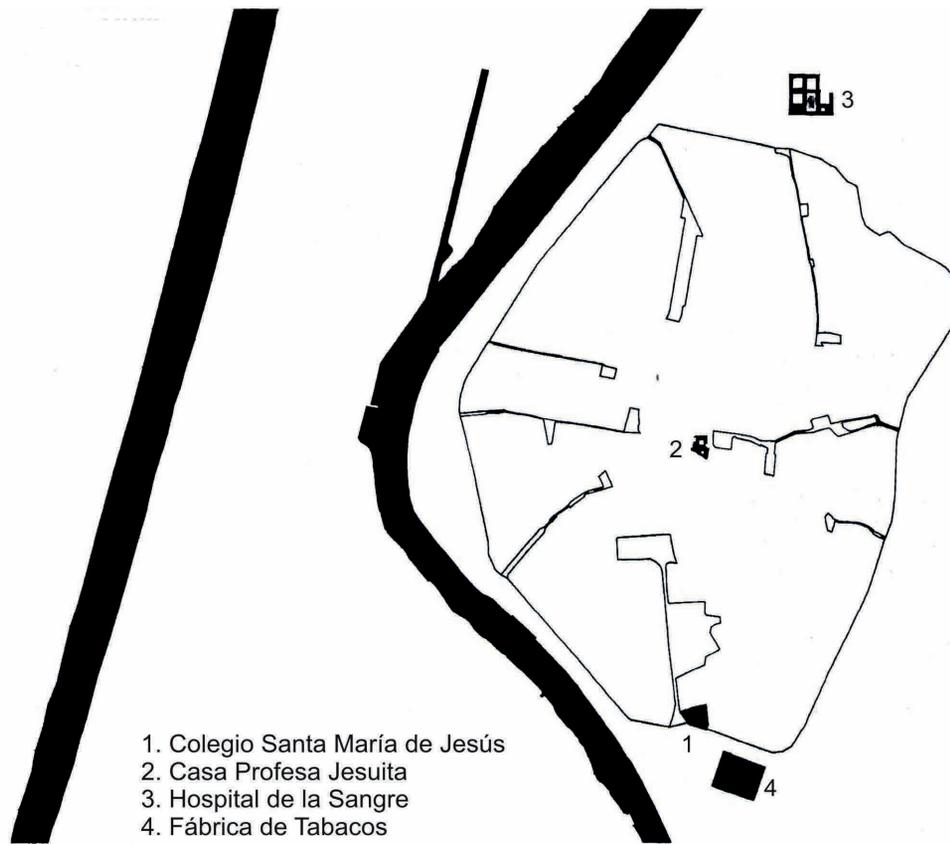


Figura 1. Localización de las primeras sedes universitarias (Martínez & Montero, 2002).

En el siglo XX acontecen fenómenos urbanos importantes que resultan determinantes para alcanzar la distribución actual de la US en la ciudad. El primero fue la Exposición Iberoamericana de 1929 que propició un primer ensanche urbanístico hacia el sur y parte de cuyos suelos fueron cediéndose a la Universidad. El segundo, también relacionado con un evento, fue la Exposición Universal de 1992. Con el tiempo algunos pabellones fueron transformados en centros universitarios y de investigación. Por último, el desarrollo de la ciudad hacia el norte dio paso a la conformación de un campus sanitario en el entorno de la Facultad de Medicina con nuevos centros (Enfermería, Podología, Fisioterapia y Odontología).

Como ya se ha indicado, dichas modificaciones urbanas dan lugar a nuevos centros y facultades que hacen que los edificios de uso universitario se dispersen por la ciudad (González-Vilches, 2002) (Figuras 2 y 3), dando respuesta a las necesidades sociales y al incremento de la tasa de escolarización (Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas, 2010).

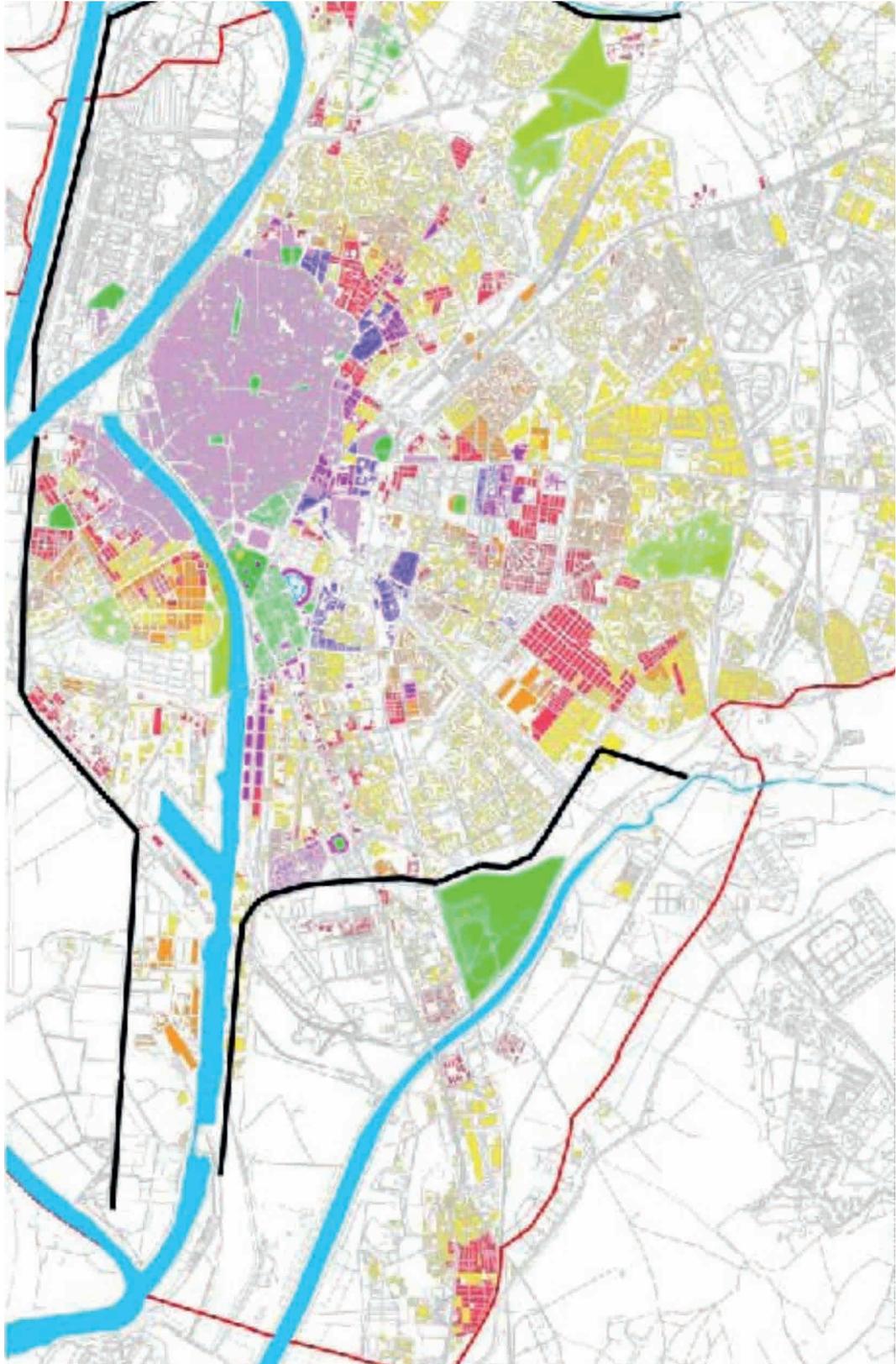


Figura 2. Evolución de Sevilla 1900-1980. (Lara-García, 2009).



Figura 3. Evolución histórica de la US.

El tipo de asentamiento de la universidad en la ciudad pone de manifiesto una ausencia de planificación general, estando ligada claramente a la ocupación de suelos en función de las necesidades de la institución y a las oportunidades de cada momento. Esto deriva a su vez, con relación al análisis de una movilidad sostenible, en la imposibilidad de dar respuestas globales, debiendo responder de manera puntual y con poca eficacia. Se suma la evolución de los sistemas de transporte y hábitos respecto a los mismos que, al estar analizando un conjunto de centros dispersos en la trama urbana, dan lugar a respuestas claramente insuficientes: vías con escasa capacidad, ausencia de bolsas de aparcamiento o dificultad de implementar nuevos sistemas de transporte público (Moliní & Salgado, 2012).

Del mismo modo, los sistemas de zonas verdes y espacios libres se han visto en gran medida limitados por este proceso. En unos casos ha sido posible su previsión y en otros, se ha recurrido al aprovechamiento de espacios públicos preexistentes. Este modelo ha dado como resultado situaciones sensiblemente diferentes con campus en que los espacios libres comunes permiten asumir la presión que genera la población universitaria y otros en los que resulta claramente insuficiente.

El objetivo de procurar un concepto de universidad sostenible se basa, entre otras cuestiones, en la utilización de recursos de todo tipo, en el planeamiento estratégico atendiendo a las necesidades reales de los propios universitarios y en las sociedades presentes y futuras (Martínez, Ortiz, Ortiz & Ponce, 2008). En el caso de la US, el objetivo de la sostenibilidad en su relación con la ciudad se debe focalizar en colaborar en una mejora de la movilidad, por estar diseminada en ella por las necesidades del área metropolitana y en la aportación de espacios libres que descongestionen la presión que llevan aparejadas los campus universitarios,

## 5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.

La conformación del tejido urbano de la universidad de forma aleatoria e improvisada ha derivado en una serie de problemas de funcionalidad: incapacidad para compartir instalaciones, desconexión entre zonas y otros inconvenientes de estructuración vinculados a su crecimiento. Al margen de los problemas enunciados, dicha generación de tejido universitario presenta aspectos positivos como la cualificación de sectores urbanos, las aportaciones culturales y dinámicas propias de la universidad (Gumprecht, 2007) o la sectorización en relación con las áreas de conocimiento.

Por todo esto, el análisis de la integración del entramado universitario con los sistemas de movilidad y los sistemas de zonas verdes y espacios libres es fundamental para la mejor identificación de las relaciones ciudad-universidad, teniendo como objetivo desarrollar y mantener procedimientos para la evaluación de los objetivos ambientales, con el fin de alcanzar un compromiso de mejora ambiental y sostenibilidad en el desarrollo de la institución (Gómez-González, Pimentel, & Martínez, 2012). Es evidente que la institución tiene una huella ecológica. En sus patrones de producción, funcionamiento y consumo, las universidades deben buscar políticas y prácticas basadas en la sostenibilidad e integradas en todas las actividades desarrolladas (Clugston & Calder, 1999).

### Análisis de movilidad.

En una universidad con múltiples campus dispersos por la ciudad, la movilidad, como sistema de transporte y red de aparcamientos utilizados por la población universitaria, juegan un papel fundamental.

Para el correcto análisis del problema es básico evaluar la modificación de los hábitos de transporte. Los medios que determinan la movilidad de la población son los siguientes:

**Autobuses de servicio público.** Estructurados para dar servicio específicos a las áreas universitarias. En general, los campus periféricos tienen una línea con carácter específico y el resto corresponden a la estructura general de líneas de la ciudad.

**Trenes de cercanías.** Medio de muy escaso desarrollo, con dos estaciones de cercanías próximas al campus de Ramón y Cajal y Reina Mercedes, que no dan servicio a las poblaciones de más envergadura de la corona metropolitana.

**Metro.** Una única línea que otorga servicio parcial a una zona del área metropolitana, con estaciones próximas al rectorado y campus Ramón y Cajal. También da servicio a la segunda universidad de la ciudad, la Universidad Pablo de Olavide.

**Coche propio.** Escasez de bolsas de aparcamiento propias en las zonas universitarias (Reina Mercedes 3, Ramón y Cajal 4, Macarena 3, Cartuja 1, BB. Artes 1) y limitación generalizada de aparcamientos públicos en muchos casos por la integración en la trama de la ciudad. Se debe señalar que del conjunto de usuarios habituales de vehículo privado (valor no cuantificado), el 46% tiene posibilidad de recurrir a aparcamientos de la propia US, mientras que el 54% lo hace en aparcamientos de uso

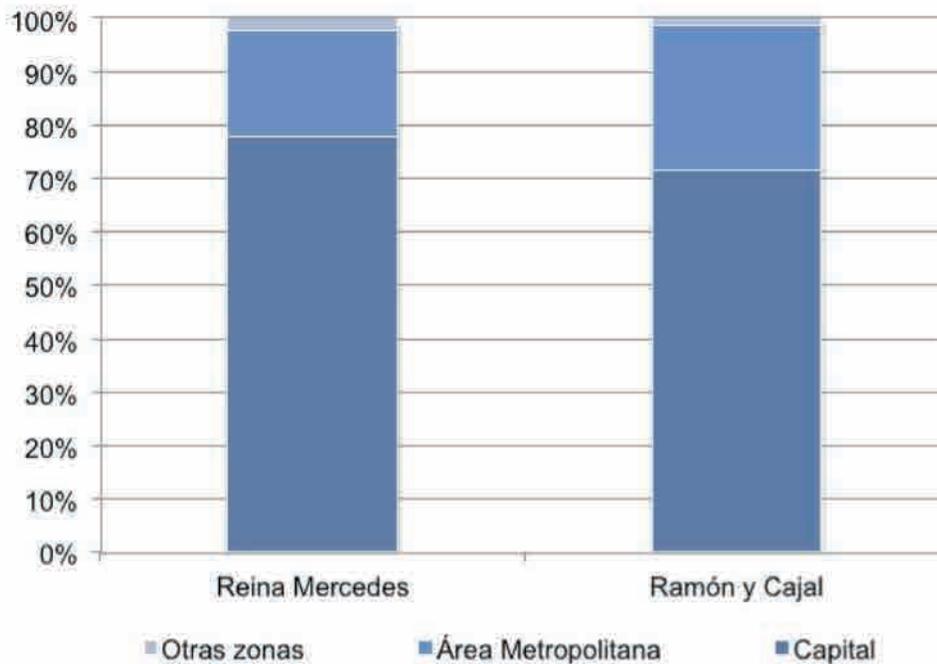


Gráfico 1. Lugar de residencia durante el curso, área metropolitana.

libre. El número de plazas de aparcamiento propios en los dos campus de mayores dimensiones (Reina Mercedes y Ramón y Cajal) asciende a 1.254, con un ligero incremento por las plazas de uso privativo de algunas instalaciones (Chávez, González, Navas & Revuelta, 2010).

**Motocicleta.** Sistema muy utilizado por las características climatológicas de la ciudad. Con carácter general, todas las áreas universitarias tienen una zona específica para aparcamiento de motocicletas.

**Bicicleta.** Sevilla dispone de un servicio de alquiler público y la universidad de un servicio de préstamo. También hay un servicio de uso combinado con los autobuses del área metropolitana. A ello se une una amplia oferta de estacionamiento de bicicletas.

El uso de estos medios depende de un gran número de variables, siendo el principal factor el lugar de residencia. En este sentido el estudio de los campus de mayor tamaño arroja unos datos similares en cuanto al mismo. Con un pequeño margen de fluctuación, El 75% de la población universitaria vive en la ciudad y el 25% en el área metropolitana (Chávez et al, 2010) (Gráfico 1).

Al margen de los medios de transporte, es interesante la influencia aunque cuantitativamente no sea muy significativa de la accesibilidad a pie, que se ve favorecida por la integración en la ciudad de los campus universitarios, lo cual ofrece dicha posibilidad a las personas que viven en las proximidades. Los campus situados en las afueras no permiten esta opción. En este sentido, hay que señalar que esa integración favorece también la oferta de alojamiento en zonas de proximidad, redundando en el beneficio señalado.

A partir de esta situación, la concienciación y concientización hacia la sostenibilidad en el transporte resulta fundamental para la finalidad de minimizar impactos producidos (Alshuwaikhat & Abubakar, 2008). Al tiempo, los sistemas públicos deben dar una respuesta eficiente que resulte interesante como alternativa para los desplazamientos en vehículo privado. Actualmente, resulta una evidencia el uso abusivo de éste, con un bajo nivel de optimización en la ocupación, a pesar del gasto que implica y las dificultades de aparcamiento.

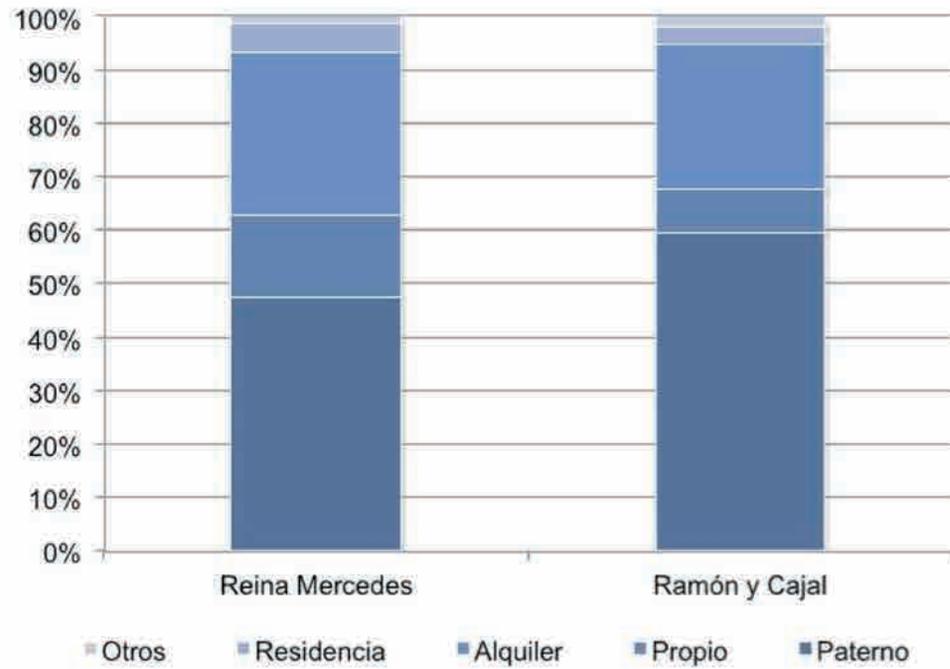


Grafico 2. Distribución de tipos residencias durante el curso.

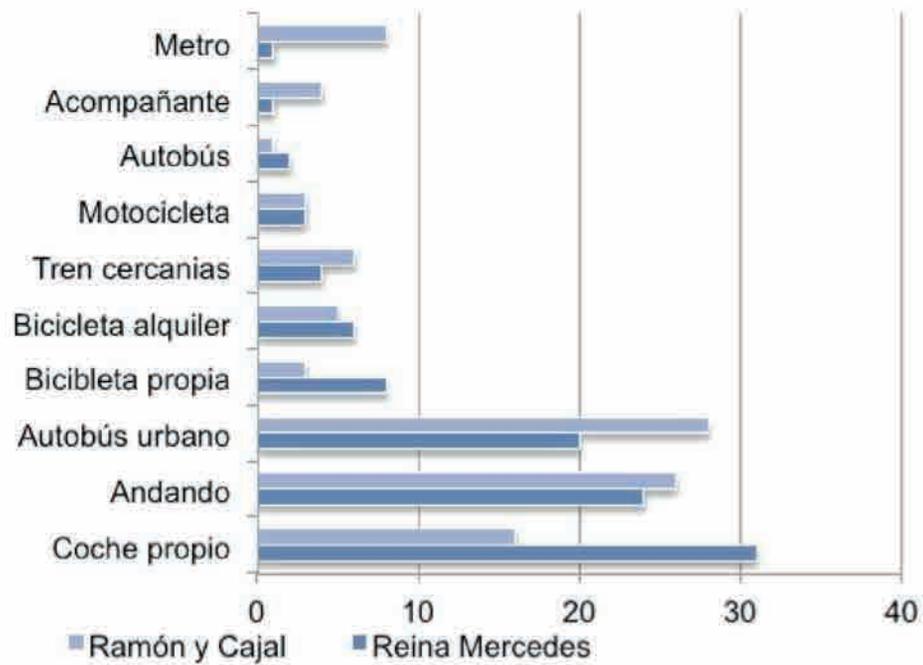


Grafico 3. Porcentaje de uso de medios de transportes.

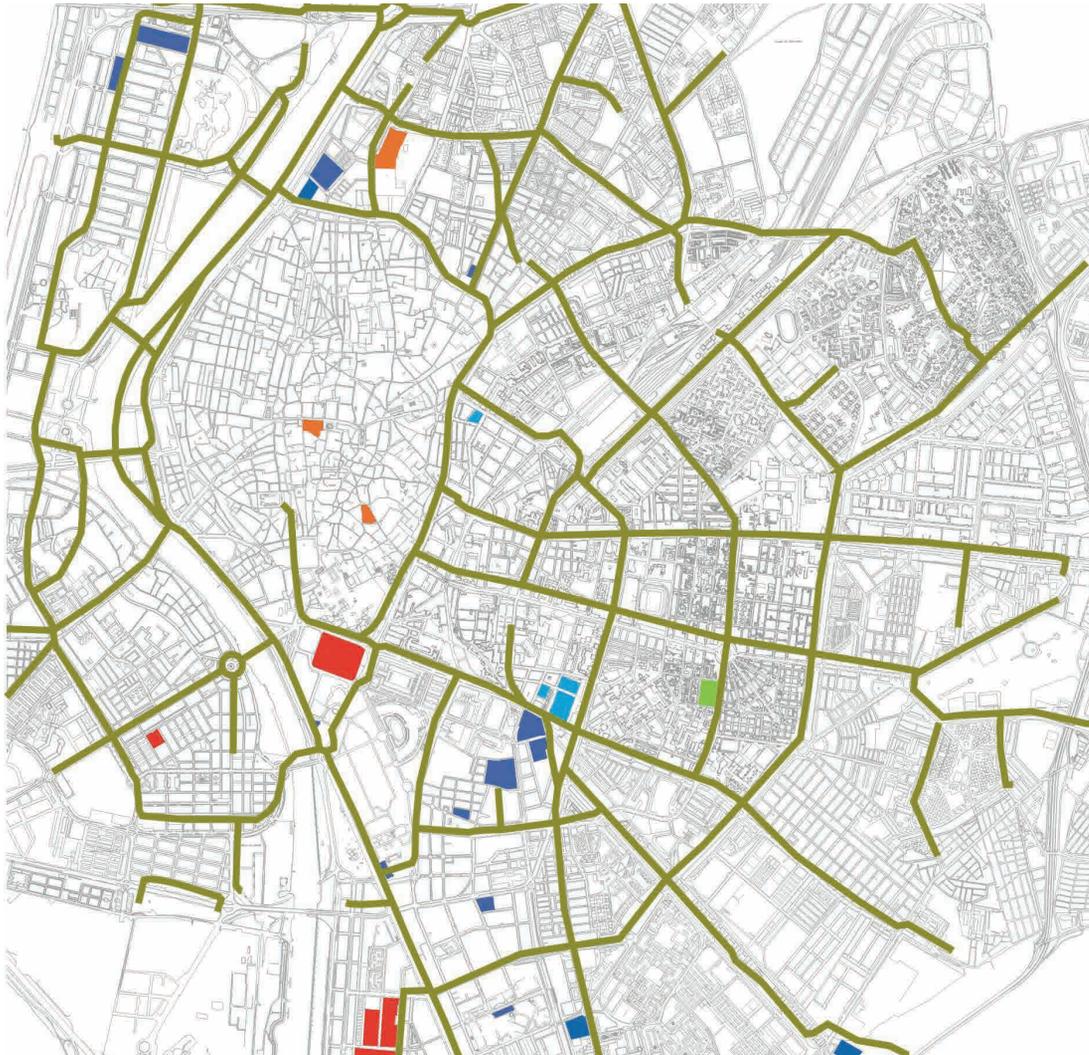


Figura 4 . Relación entre los centros universitarios y carril bici.

Un estudio realizado en 2010 sobre los dos campus más grades (Reina Mercedes y Ramón y Cajal) establecía el tiempo medio de desplazamientos al campus entre 23 y 26 minutos (Chávez et al, 2010). Las diferencias son fundamentalmente debidas a una mayor cercanía de zonas residenciales universitarias vinculadas a la primera zona, así como unas mejores conexiones, por encontrarse en una zona más periférica. Esta situación es extrapolable al campus sanitario en la zona norte y al de La Cartuja. El campus Ramón y Cajal, si bien tiene una buena conexión de transporte público, presenta una mayor dificultad de acceso por su situación próxima al centro de la ciudad y una menor oferta de alojamiento cercano.

El uso del transporte dent campus de Ramón y Cajal que ofrece más alternativas por encontrarse en un nodo de comunicación. Otro dato que ayuda a entender este fenómeno es el uso del metro o el tren entre ambos campus, la diferencia en proximidad de las estaciones con sus respectivos centros hace que el uso del tren sea

más extendido en Ramón y Cajal. Algo similar respecto al vehículo privado ocurre en el campus Reina Mercedes, con mayores bolsas de aparcamiento.

Un factor fundamental es la introducción del carril bici en la ciudad, propiciando un cambio importante en la estructura de transportes y la conciencia ciudadana (Morales-Carballo, 2011) con una red adecuada al servicio a las áreas universitarias (Figura 4).

Del análisis anterior se observa que la universidad, como institución académica, tiene la posibilidad de influenciar los comportamientos sociales sobre consumo y transporte (Bilbao & Fernández, 2004) pudiendo generar sistemas y usuarios más responsables con sus hábitos, lo que resulta clave para la mejora de la relación universidad-ciudad (Hunecke, Haustein, Bohler & Grischkat, 2010; Pronello & Camusso, 2011; Sedlacek, 2013).

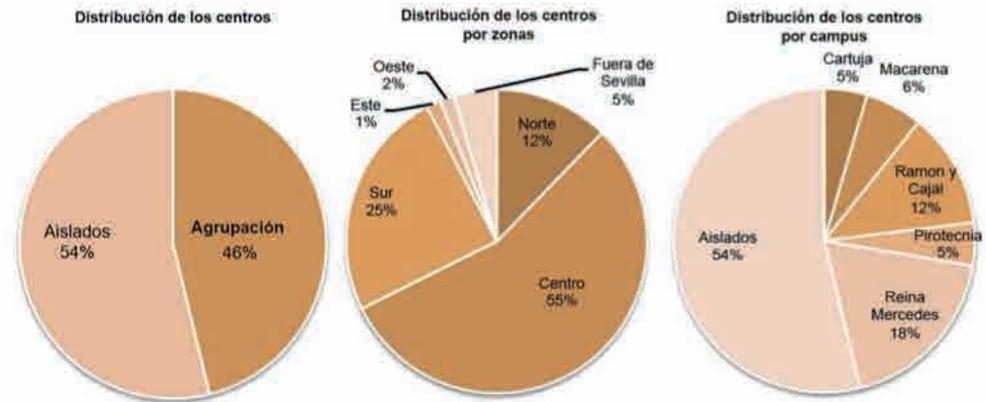


Grafico 4. Distribución de centros de la US.

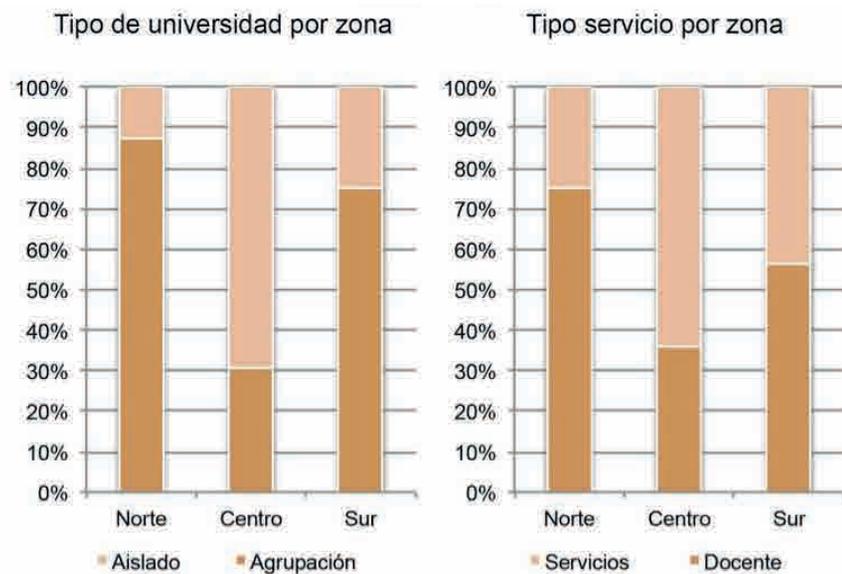


Grafico 5. Tipo de universidad y tipo de servicio por zona de la ciudad.

**Análisis de espacios libres.**

En las últimas décadas, la universidad ha sufrido una fuerte expansión. Los factores que la propiciaron fueron la generalización de la enseñanza en la sociedad junto con la incorporación de la mujer a los estudios y la existencia de pocas opciones laborales (Caravaca & Fera, 1994). A ello se suma la incorporación a la universidad de escuelas con un menor rango.

La universidad ha tenido una importante falta de planificación urbanística debido a la urgencia y a las posibilidades de cada momento, así se produce una cualificación de la ciudad desde la desplanificación. Tal afirmación se puede confirmar con la inexistencia de usos universitario en las bases funcionales de partida de los Planes de Ordenación de 1946 y de 1963 (PGOU, 2006). Por ello resulta interesante el estudio de equipamientos universitarios relacionados con los espacios libres.

Con los datos del gráfico 4 se puede observar que el 54% de los centros universitarios está en edificios aislados, lo que genera espacios libres con insuficiente entidad como para asumir su propia presión y otorgar servicio a la ciudad. A su vez, puede verse cómo más de la mitad de estos se encuentra en el centro de la ciudad, la zona con un mayor déficit de espacios libres, como se puede observar en el gráfico 6, creándose otras dos polaridades al sur y al norte.

En la zona central impera el edificio aislado con servicios universitarios. Sin embargo, en las zonas norte y sur prevalece la agrupación destinada mayormente a docencia (ver gráfico 5). Esto es fruto del tipo de ciudad sobre la que se asienta la universidad. El centro se caracteriza por tener un tejido compacto y consolidado, con pocas alternativas. Mientras, al sur y al norte, la ciudad ofrece más opciones y ha dispuesto vacíos urbanos que han permitido zonas universitarias con espacios libres.

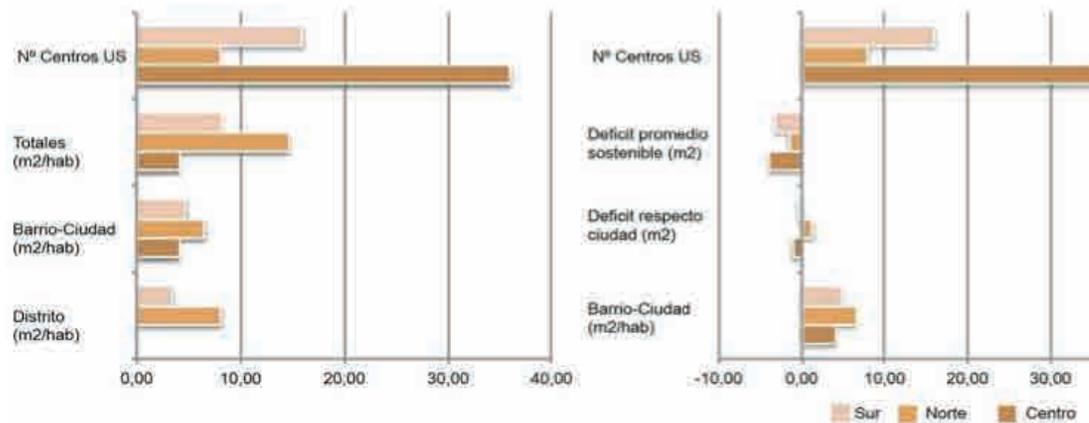


Gráfico 6. m2/hab. distrito, barrio-ciudad, nº de centros de la US. Déficit respecto a ciudad y al promedio sostenible mínimo (PGOU, 2006).

Distrito	Población hab.	Barrio-Ciudad		Déficit respecto ciudad		Déficit promedio sostenible		% de Centros US
		Espacio Libre m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /hab.	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /hab.	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /hab.	
Centro	189072	770517	4,08	-1,09	-206985,24	-3,92	-742059,00	55%
Norte	148030	963043	6,51	1,34	197727,90	-1,49	-221197,00	12%
Sur	89203	425364	4,77	-0,40	-35815,51	-3,23	-288260,00	25%

Tabla 1. m2/hab. distrito, barrio-ciudad, porcentaje de centros de la US. Déficit respecto a la ciudad y al promedio sostenible.

La gran cantidad de servicios universitarios en la zona central permiten que pueda atenderse a mayor número de centros desde un punto estratégico, algo que no ocurre con los servicios deportivos, donde un alto número de instalaciones se encuentran en el sur, lo que va contra la creación de lugares de centralidad social dentro de la vida estudiantil (Chatterton, 1999).

Al poseer ese carácter diseminado, la universidad puede vincular su espacio libre con los polos universitarios, por ello se ha analizado la existencia de este tipo de superficies en cada zona (ver gráfico 6) organizándose en función de dos escalas. El concepto de espacio libre abarca zonas ajardinadas y espacios diáfanos vinculados a los edificios universitarios o a los campus.

La primera, la del distrito contempla, espacios como áreas de juego y estancia a jardines, parques urbanos y parques históricos; mientras que la segunda, la de escala barrio-ciudad, considera parques urbanos o históricos de grandes dimensiones (superiores a 1.000 m2). La US cuantifica en sus campus un total de 91.000 m2 de zonas verdes y espacios libres, siendo calificadas por la propia institución como dispersos e integrados en la ciudad, con la consiguiente dificultad de expansión.

Gráfico 6 – m2/hab. distrito, barrio-ciudad, nº de centros de la US. Déficit respecto a ciudad y al promedio sostenible mínimo (PGOU, 2006).

Los centros universitarios y la ciudad podrían generar una simbiosis en la utilización de espacios libres pero de la tabla 1 y gráfico 6 puede extraerse que la relación del número de centros con respecto al déficit de espacios libres es directamente proporcional.

En la zona centro, el déficit de espacios libres con respecto al promedio sostenible es muy alto, pero no puede ser suplido o mejorado por el tejido universitario puesto que la tipología universitaria que prevalece son los edificios aislados sin formar agrupaciones con espacios libres. Es importante destacar que todas las áreas analizadas se encuentran muy por debajo de los estándares mínimos sostenibles, dato de relevancia siendo el sistema de espacios libres de especial importancia para estructurar la ciudad. Además, hay que señalar que estos datos sólo atienden a la cantidad de espacios libres, sin contemplar la calidad de los mismos.

## 6 CONCLUSIONES

Las principales ventajas que genera la dispersión urbana de la universidad y la correcta integración universidad-ciudad son: la cualificación de sectores urbanos mediante una equilibrada mezcla de usos y actividades urbanas que impulsan la cooperación. La dispersión norte-sur genera un consumo de ciudad equilibrado, fomentado la inclusión social (Sasaki, 2010). El desarrollo de una universidad red propicia un impacto en la totalidad de la ciudad al vincularse a los servicios urbanos (Bilbao & Fernández, 2004), facilitando el acceso de los usuarios a zonas residenciales, servicios próximos y a los espacios libres cercanos a los centros. Esto genera un flujo de servicios e información entre ambas, creando una red cultural y de conocimiento con impacto en una amplia superficie de la ciudad (Shannon, Giles-Corti, Pikora, Bulsara, Shilton & Bull, 2006; Rivas, 2011; Ariza-Parrado & Pérez-Fargallo, 2013).

La US necesita nuevos espacios e infraestructuras ya que muchas zonas están colapsadas. Presenta además un déficit de superficie docente construida (170.000 m<sup>2</sup>) que provoca la sobrecarga de la existente o la reducción del área libre anexa a edificaciones (Tejido, 2002). A esto se debe sumar la casi inexistencia de servicios complementarios (espacio libre y aparcamiento) y la incapacidad para compartir los que tiene, lo que hace necesaria una mejora cualitativa y una progresiva adaptación de las instalaciones actuales (Siu Yu Lau, Gou & Liu, 2014).

El crecimiento de las zonas universitarias no puede desarrollarse mediante adición de nuevas piezas, al estar saturadas. Su crecimiento debe centrarse en zonas desvinculadas de las anteriores. Esas nuevas polaridades deben relacionarse, a la vez, con zonas de regeneración urbana o áreas industriales, con la finalidad de crear sinergias de investigación universidad-industria (Etzkowitz, Webster, Gebhardt, & Cantisano, 2000). Teniendo en cuenta que la dispersión genera un déficit de servicios de apoyo (bibliotecas, oficinas de gestión y administración) y servicios complementarios (comedores, instalaciones deportivas, etc.).

La posición central de los servicios administrativos de la universidad dificulta el acceso de usuarios periféricos. En otros casos, la descentralización aumenta la problemática. Sería necesaria la creación de localizaciones administrativas periféricas con la finalidad de evitar la discriminación por la proximidad o lejanía a dichas instalaciones.

La falta de conexiones físicas entre centros y el alto número de centros aislados, hace que exista poca comunicación física entre los investigadores, generando guetos de conocimiento por la dificultad para crear conocimiento transversal (Gómez-Mendoza, 1987; Toker & Gray, 2008). Esto crea una importante dependencia de los transportes y un desvanecimiento de la imagen global de universidad.

## BIBLIOGRAFIA

- AGUILAR, F. *Historia de la Universidad de Sevilla*. Sevilla: Serv. Pub. Univ. Sevilla, 1991, 14-15.
- ALSHUWAIKHAT, H. M. & ABUBAKAR, I. An integrated approach to achieving campus sustainability: Assessment of the current campus environmental management practices. *Jour Cleaner Production*. 2008, 16, 1777-1785.
- ANDRÉS-SARASA, J.L. Intraurbanización, La Universidad en el centro de la ciudad. *Papeles de geografía*. 2000, 32, 5-18.
- ARIZA-PARRADO L. & PÉREZ-FARGALLO A. La configuración del territorio y el espacio urbano por una universidad policéntrica. Descripción del caso de la Universidad de Sevilla. *Dearq*. 2013, 13, 68-83.
- BILBAO, J., & FERNÁNDEZ, A. The influence of quality and price on the demand for urban transport: the case of university students. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2004, 38(8), 607-614.
- CAMPOS, P. *La universidad en España. Historia, urbanismo y arquitectura*. Madrid: Centro de publicaciones, Secretaria General Técnica, Ministerio de Fomento, 2000, 30.
- CARAVACA, I. & FERIA, J. M. Universidades y ciudad: necesidad de un nuevo modelo espacial para la Universidad de Sevilla. *Anales de geografía de la Universidad Complutense*. 1994, 14, 105-118.
- CHAMBERS, D. Assessing & planning for environmental sustainability. A framework for institutions of higher education. En: Filho, W.L. ed. *Sustainability at Universities - Opportunities, Challenges and Trends*. Frankfurt: Peter Lang, 2009
- CHATTERTON, P. University Students and City Centers – The Formation of Exclusive Geographies: The Case of Bristol, UK. *Geoforum*. 1999, 30(2), 117-133.

- CHÁVEZ, M.J., GONZÁLEZ, A., NAVAS, C. & REVUELTA, M.P. *Estudio de movilidad en los campus universitarios de Reina Mercedes y Ramón y Cajal*. Sevilla: Universidad de Sevilla, 2010.
- CLUGSTON, R.M. & CALDER, W. (1999). Critical dimensions of sustainability in higher education. En: FILHO, W.L. ed. *Sustainability and University Life*. Frankfurt: Peter Lang, 1999, 31-46.
- CONFERENCIA DE RECTORES DE LAS UNIVERSIDADES ESPAÑOLAS. *La universidad española en cifras. Información por instituciones universitarias*. 2010. Madrid: Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas.
- CORTESE, A.D. *Education for Sustainability. The University as a Model for Sustainability*. Boston: Second Nature, 1999. [Consultado 20 marzo 2015]. Disponible en <https://www.ithaca.edu/sustainability/docs/crr/edforsx.pdf>
- ETZKOWITZ, H., WEBSTER, A., GEBHARDT, C. & CANTISANO-TERRA, B.R. The Future of the University and the University of the Future: Evolution of Ivory Tower to Entrepreneurial Paradigm. *Research Policy*. 2000, 29(2), 313-330.
- GÓMEZ-GONZÁLEZ, Y., PIMENTEL, D. & MARTÍNEZ, M. Propuesta de un modelos de gestión ambiental para la sede universitaria municipal de La Palma. *DELOS: Desarrollo Local Sost.* 2012, 5(14).
- GÓMEZ-MENDOZA, J. *Ghettos universitarios. El campus de la universidad autónoma de Madrid*. Madrid: Dept. Geografía Univ. Autónoma Madrid, 1987.
- GONZÁLEZ-VILCHES, M. *El desarrollo de la universidad en la ciudad desde mediados del siglo XX*. Universidad y ciudad: arquitectura de la Universidad Hispalense. I Foro de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Sevilla. Sevilla: Serv. Pub. Univ. Sevilla, 2002, 33-44.
- GUMPRECHT, B. The Campus as a Public Space in the American College Town. *Journal of Historical Geography*. 2007, 33(1), 72-103.
- HUNECKE, M., HAUSTEIN, S., BOHLER, S. & GRISCHKAT, S. Attitude-based target groups to reduce the ecological impact of daily mobility behavior. *Environment and Behavior*. 2010, 42, 3-43.
- LARA-GARCÍA, Á. (2009). *Segregación social, configuración urbana y espacio público en el entorno de la ronda del Tamarguillo (Sevilla)*. Trabajo presentado al Taller Capital y Territorio. ¿La Construcción de un Sueño? Proyecto Capital y territorio II, Programa UNIA Arte y pensamiento. [Consultado 20 marzo 2015]. Disponible en <http://ayp.unia.es>
- LA UNIVERSIDAD DE SEVILLA. *La US en cifras*. [Consultado 20 marzo 2015]. Disponible en <http://www.us.es/acerca/cifras/>.
- MARTÍNEZ, A. & MONTERO, F.J. *Universidad y sociedad*. Universidad y ciudad: arquitectura de la Universidad Hispalense. I Foro de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Sevilla. Sevilla: Serv. Pub. Univ. Sevilla, 2002, 45-64.
- MARTÍNEZ, J., ORTIZ, J.J., ORTIZ, J.L. & POCE, J.P. *Modelo de universidad sostenible; reto impostergable de las instituciones de educación superior*. 2008. [Consultado 20 marzo 2015]. Disponible en <http://www.repositoriodigital.ipn.mx>.
- MIRALLES-GUASCH, C. De universidad-campus, aislada y suburbana, a polo metropolitano del conocimiento. El caso de la Universitat Autònoma de Barcelona. *Scripta Nova*. 2010, XIV, 319. [Consultado 20 marzo 2015]. Disponible en <http://www.repositoriodigital.ipn.mx>, de <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-319.htm>
- MOLINÍ, F. & SALGADO, S. Los impactos ambientales de la ciudad de baja densidad en relación con los de la ciudad compacta. *Biblio 3W*. 2012, XVII, 958. [Consultado 20 marzo 2015]. Disponible en <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-958.htm>.
- MORALES-CARBALLO, L. La movilidad ciclista como factor de sostenibilidad: breve análisis de su emergencia en la ciudad de Sevilla. *Hábitat y Sociedad*. 2011, 2, 109-130.
- NICOLAIDES, A. The implementation of environmental management - Towards sustainable universities and education for sustainable development as an ethical imperative. *International Jour. Sustainability in Higher Education*. 2006, 7(4), 414-424.
- PGOU. *Plan General de Ordenación Urbana de Sevilla*. Sevilla: Ayuntamiento de Sevilla, 2006.
- PRONELLO, C. & CAMUSSO, C. Travellers' profiles definition using statistical multivariate analysis of attitudinal variables. *Jour. Transport Geography*. 2011, 19, 1294-1308.
- RIVAS, M.I. Modelo de sistema de gestión ambiental para formar universidades ambientalmente sostenibles en Colombia. *Gestión y Ambiente*. 2011, 14(1), 151-161.
- RUBIO, J.L. *Ciudad y Saber: Sevilla en la Historia de la Educación*. Sevilla: Gihus, Dept. de Teoría e Historia, 2002, 71-137.
- SASAKI, M. Urban Regeneration through Cultural Creativity and Social Inclusion: Rethinking Creative City Theory through a Japanese Case Study. *Cities*. 2010, 27, Supplement 1, S3-S9.
- SEDLACEK, S. The Role of Universities in Fostering Sustainable Development at the Regional Level. *Jour. Cleaner Production*. 2013, 48, 74-84.
- SHANNON, T., GILES-CORTI, B., PIKORA, T., BULSARA, M., SHILTON, T. & BULL, F. Active commuting in a university setting: Assessing commuting habits and potential for modal change. *Transport Policy*. 2006, 13(3), 240-253.
- SIU YU LAU, S., GOU, Z. & LIU, Y. Healthy campus by open space design: Approaches and guidelines. *Frontiers of Architectural Research*. 2014, 3(4), 452-467.
- TEJIDO, F.J. *Las sedes universitarias en la construcción de la ciudad*. Universidad y ciudad: arquitectura de la Universidad Hispalense. I Foro de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Sevilla. Sevilla: Serv. Pub. Univ. Sevilla, 2002, 19-31.
- TOKER, U. & GRAY, D.O. Innovation Spaces: Workspace Planning and Innovation in U.S. University Research Centers. *Research Policy*. 2008, 37(2), 309-329.
- VILAGRASA, J. *Ciutat i universitat Lleida*. Lleida: Ajunt. Lleida i Univ. Lleida, 2001, 159.