

V3
N2

HS



Revista
Hábitat Sustentable
ISSN 0719 - 0750 / Vol 3 Nº 2 / Jul-Dic 2013

V3N2



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

REVISTA HÁBITAT SUSTENTABLE

JULIO-DICIEMBRE 2013

EDITORIAL

Este número de la Revista Hábitat Sustentable es muy especial ya que con él celebramos la reciente indexación de la revista en **Latindex Catálogo**, que avala el cumplimiento los requisitos de calidad exigidos por esta entidad que regula las revistas de investigación científica, técnico-profesionales y de divulgación científica y cultural que se editan en los países de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Además, la revista ha ingresado en la Base de Datos de **DOAJ** (Directory of Open Access Journal) que promueve la difusión de revistas científicas cuyo contenido es de acceso libre y gratuito. De esta manera, esperamos ampliar la cobertura de los artículos publicados en esta revista y con ello potenciar su contribución a la discusión sobre la sustentabilidad del ambiente construido en el contexto Iberoamericano.

El número actual comienza con dos artículos que recogen investigaciones realizadas en el contexto de Mendoza, Argentina, acerca de distintos parámetros que influyen sobre la calidad ambiental del espacio urbano. El artículo *Permeabilidad del arbolado urbano a la radiación solar: estudio de dos especies representativas en entornos urbanos de baja densidad del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina* estudia el efecto del arbolado urbano sobre el potencial solar del espacio urbano-edificio a través del estudio del caso del área metropolitana de Mendoza; mientras que el artículo *Evaluación de las condiciones térmicas de verano y eficiencia ambiental de distintos diseños de plazas urbanas en Mendoza, Argentina* analiza distintas plazas urbanas para identificar de qué manera distintos aspectos de diseño, tal como materialidad, arbolado, equipamiento; influyen sobre el comportamiento térmico y la visión del cielo de estos casos.

Los siguientes dos artículos revisan distintas formas en que el proyecto de arquitectura se adapta a los actuales desafíos de la sustentabilidad. El artículo *Copa 2014 - diretrizes de sustentabilidade na concepção do projeto do novo verdão, a Arena Pantanal, em Cuiabá-Mt* analiza los criterios de sustentabilidad ambiental integrados en el proyecto Arena Pantanal de Cuiabá para la Copa del Mundo de Fútbol 2014 en Brasil, que se desarrolló de acuerdo a los criterios de la certificación ambiental LEED; sistema que ha impactado fuertemente los conceptos de sustentabilidad ambiental en proyectos de arquitectura de Latinoamérica, con indudables ventajas y desventajas. Desde otra

perspectiva, el artículo *Antecedentes metodológicos y herramientas de diseño en el proyecto arquitectónico de la envolvente biomimética* analiza las herramientas de diseño que permiten crear envolventes arquitectónicas inspiradas en la biomimética, es decir, en las formas de la naturaleza, con el fin de ofrecer respuestas “orgánicas” a las demandas de control solar y lumínico.

El estudio de casos ha sido una metodología de investigación muy recurrente en el ámbito de la arquitectura y la edificación, y los siguientes dos artículos indagan en problemas de investigación relevantes a partir del estudio de casos de edificios de oficinas. El artículo *Ventilación de espacios de trabajo en edificios de oficina y su influencia sobre la eficiencia energética* analiza el efecto de distintas estrategias de ventilación sobre la eficiencia energética de los edificios, comparando dos casos de estudio en la ciudad de San Juan, Argentina, que corresponden a un edificio con ventilación mecánica y un edificio con ventilación natural; llegando a concluir que existen importantes oportunidades de eficiencia energética en estos casos, en balance con las necesidades de confort de los usuarios. El artículo *Uso de agua residual residual do ar condicionado e de agua pluvial como gestão da oferta em uma edificação comercial: estudo de caso* determina, en base al estudio del caso de un edificio en Vitoria, Brasil, el potencial de aprovechamiento de aguas residuales de evaporación del sistema de aire acondicionado para satisfacer la demanda hídrica del edificio.

Finalmente, cerramos este número con el artículo *Función e impacto del archivo climático sobre las simulaciones de demanda energética* que expone el impacto que genera el uso de distintas fuentes de datos climáticos sobre el cálculo de demanda energética de calefacción de las edificaciones, lo que cuestiona la precisión de las metodologías de predicción de comportamiento utilizadas en la actualidad, tanto en acciones proyectuales como en investigación.

Nuevamente quisiéramos agradecer a los autores de estos artículos por la confianza depositada en esta revista, así como a los revisores por su aporte a la evaluación ciega de los trabajos

Dra. Maureen Trebilcock
Editora
Revista Hábitat Sustentable

Permeabilidad del arbolado urbano a la radiación solar: Estudio de dos especies representativas en entornos urbanos de baja densidad del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina

Permeability of urban forests to solar radiation: a study of two representative species in low-density urban environments in the Mendoza Metropolitan Area



Mariela Edith Arboit marboit@lab.cricyt.edu.ar

Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (INCIHUSA – CONICET) – Mendoza, Argentina



RESUMEN

Palabras Clave

Desarrollo urbano sustentable,
Morfología urbana,
Arbolado urbano,
Potencial solar

El objetivo del trabajo es generar conocimientos que permitan determinar la influencia del arbolado urbano, público o privado, sobre el potencial solar de los entornos urbano- edificios de baja densidad del Área Metropolitana de Mendoza (AMM). El estudio de la permeabilidad del arbolado urbano ha sido desarrollado para situaciones típicas del área de Capital, Mendoza, representada por especies como: Plátano 21,80%, Morera 32,7%, Fresno europeo 20,95% y Paraíso 2,72% (Cantón, 1994-2000). Sin embargo para determinar la permeabilidad arbórea de entornos urbanos de baja densidad del AMM, en una primera etapa fue necesario realizar una recolección muestral que permitió identificar la presencia de ejemplares no evaluados como Acer 9,95% y Paraíso sombrilla 8,37%. En una segunda etapa, se elaboró un plan de mediciones para un ciclo anual, sobre un conjunto de 8 ejemplares por especie seleccionada. Los resultados obtenidos indican una reducción de la energía solar disponible, del 52,88% al 75,93% en la estación de invierno y del 85,96% al 98,38 % en verano para Acer y Paraíso Sombrilla respectivamente. El estudio ha permitido avanzar en la determinación del potencial solar en ambientes urbanos considerando la permeabilidad de dos especies arbóreas representativas del AMM.

ABSTRACT

Key Words

Urban sustainable development,
Urban morphology,
Urban forest,
Solar potential

The objective of this article is to generate knowledge to determine the influence of urban forests, public or private, on the solar potential of low-density urban environments in the Mendoza Metropolitan Area (MMA). The urban forest permeability study had been developed for situations typical of Mendoza, with species such as: London plane (*Platanus acerifolia*) 21,80%, White mulberry (*Morus alba*) 32,71%, European ash (*Fraxinus excelsior*) 20,95%, and Chinaberry (*Melia azedarach*) 2,72% (Cantón, 1994-2000). However, to determine the permeability of forests to solar radiation in low-density urban areas of the MMA, in the first stage it was necessary to collect samples to identify the presence of species untested for permeability, including Box elder (*Acer negundo*) 9,95% and Umbrella Chinaberry (*Melia azedarach fm. umbraculifera*) 8,37%. In the second stage, a measurement plan was developed for a yearly cycle, for a group of 8 trees of each selected species. The results obtained indicate a reduction in the solar energy available from 52,88% to 75,93% in winter, and from 85,96% to 98,38% in summer for Box elder y Umbrella Chinaberry respectively. The study has made progress in determining the solar potential in urban environments considering the permeability of two representative tree species in the Mendoza Metropolitan Area.

1. Introducción

Los espacios verdes urbanos proveen grandes beneficios sociales y ambientales que favorecen la calidad de vida en las ciudades. La contribución del arbolado urbano en la mejora del microclima, de la calidad del aire y de vida en las ciudades está muy bien documentada (Bernatzky, 1982; Rowntree, 1986; McPerson, 1992; Scudo, G. 2003; Santamouris, M. 2000; Mascaró, L. 1996). También el acceso a los recursos climáticos, los indicadores agronómicos y la funcionalidad del arbolado urbano son directamente influenciados por el tipo de árboles en la escala urbana y edilicia; la selección de la arboleda aborda temas como la optimización del recurso hídrico, aumento de la diversidad de especies, longevidad y contextualización histórico-cultural (Arnold, 1980; Flemer, 1981; Richards, 1992; Martínez, 2008) una correcta selección de especies a largo plazo, debería dar lugar a un arbolado saludable, gestionable y sostenible (Clark et al. 1997).

En el Área Metropolitana de Mendoza (AMM) se han desarrollado varios estudios específicos a partir de conjuntos representativos de la morfología urbano-edilicia determinando el potencial solar de entornos de baja y alta densidad (de Rosa, 1988; Córca, L. 2004; Fernández, J. 1992; Mesa, 2000; Basso, 2003; Arboit, 2008, 2010). Dentro del PICT 98 N° 13-04605, desarrollado por la Unidad de Investigación y Desarrollo (UID) INCIHUSA-CONICET, no se pudo completar, por razones atendibles respecto de su financiamiento, el estudio de la incorporación del arbolado urbano y sus características de permeabilidad en el análisis del potencial solar de los entornos representativos del AMM, quedando un importante campo por estudiar en los que cobra particular relevancia la escala de las construcciones, las características de los espacios abiertos y la presencia del arbolado urbano (Cantón, et. al. 1994, 2000, 2003). El estudio de la incorporación del arbolado en los modelos de simulación y la valoración del impacto de la variable arbolado urbano en el potencial solar de entornos urbanos de baja y alta densidad se desarrolló a partir de 2005 en la UID (Arboit 2005-2013). Los resultados alcanzados hasta el momento demuestran que el arbolado urbano, una característica distintiva del Área Metropolitana de Mendoza (AMM), tiene una incidencia de primer orden en el potencial solar de los edificios urbanos. (Modelo Gráfico y Modelo Estadístico. Arboit 2008, 2010).

La arboleda del espacio público de la ciudad está caracteriza por tres variables primarias: 1. La magnitud (dependiente de las características morfológicas y dimensionales de la especie arbórea: forma, altura y diámetro de la copa), 2. La permeabilidad estacional del follaje de las especies caducifolias (dependiente de la especie y su ciclo de foliación) a la radiación solar directa; y por último, 3. La plenitud, que expresa en porcentaje la cantidad de ejemplares existentes alrededor de una manzana respecto a la cantidad máxima posible, teniendo en cuenta la distancia adecuada entre individuos (Figuras 1,2 y 3).

Las especies arbóreas presentes en el medio urbano se relacionan con la evolución histórica de la ciudad, los ejemplares han sido plantados en distintos periodos de expansión urbana dando lugar a ejemplares de gran desarrollo que conforman una estructura uniforme, continua y abovedada sobre todo en entornos consolidados, y ejemplares jóvenes en donde la estructura de plantación arbórea es más abierta y discontinua. (Bórmida, 2005; Panasiti, A. 1994; Tacchini, J. 1994)

En el AMM la cantidad de árboles en la vía pública asciende a 900 mil (Tabla 1).

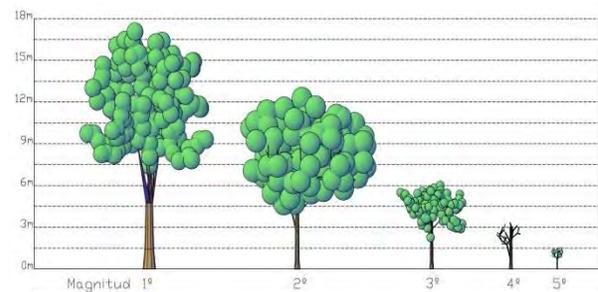


Figura 1: Magnitud del arbolado.
Figure 1: Tree size.

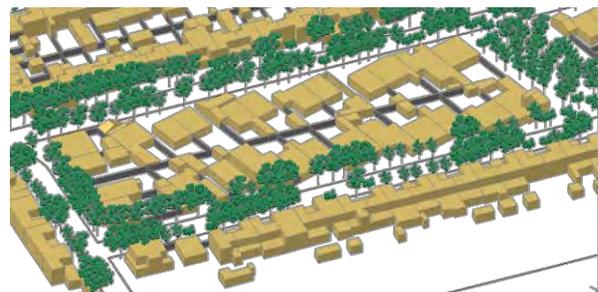


Figura 2: Plenitud del arbolado.
Figure 2: Woodland fullness.

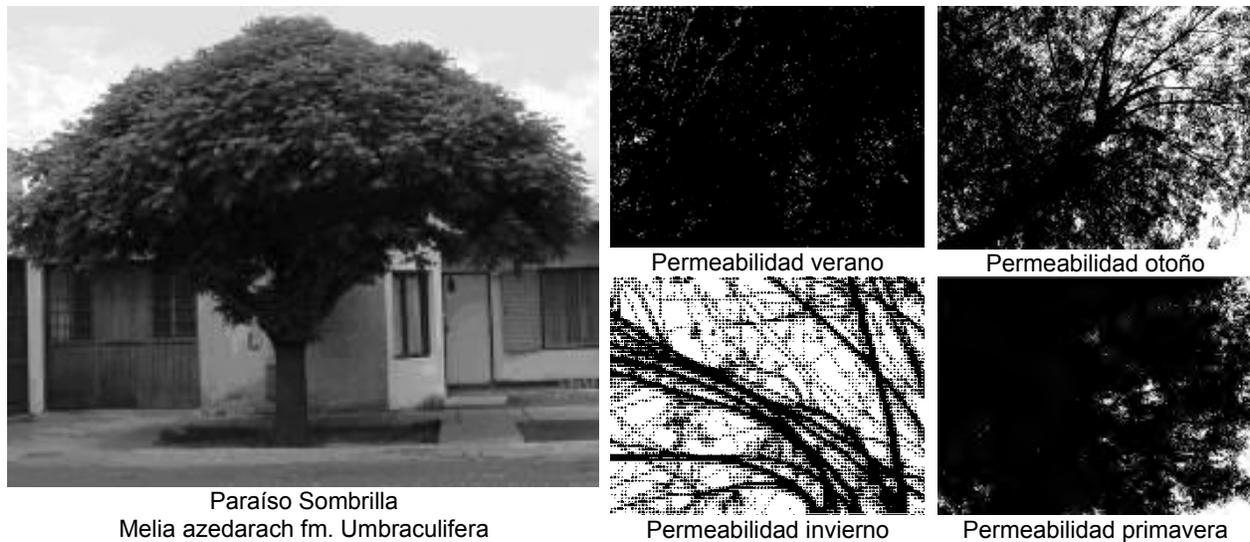


Figura 3: Imágenes blanco y negro de permeabilidad.
Figure 3: Black and white images of permeability.



La zona definida como universo de análisis es el Área Metropolitana de Mendoza (AMM) y ocupa actualmente una superficie urbanizada de aproximadamente 114.000 hectáreas, con una estructura lineal dominante en el sentido Norte-Sur. Está desarrollada sobre un oasis de cultivo con riego artificial, lindando su borde oeste con el piedemonte andino, es decir, la zona desértica natural de la región. El tejido urbano está integrado por la geometría de las manzanas, la morfología de los volúmenes construidos, las áreas verdes, acequias y arboleda. Mendoza urbana fue creciendo en torno a la red de acequias que antiguamente irrigaron sus cultivos y sus calles se alinearon paralelamente a las hijuelas, respondiendo a la necesidad de sobrevivir en medio de un desierto, este crecimiento no previó el consecuente crecimiento anárquico ni la expansión sobre tierras cultivadas (Montaña, E. 2005; Pastor, 2010; Bórmida, 2005; Tacchini, J. 1994).

Áreas Verdes: La interconexión entre plazas y parques, a través de las calles arboladas, conforma un mosaico de verde integral, una verdadera red verde que aumenta la calidad del espacio público. (Bórmida, 2005; Panasiti, A. 1994; Tacchini, J. 1994).

Del total de la superficie analizada del AMM el 8,44% está representada por áreas verdes si bien sólo el 6,40% de las áreas verdes están consolidadas (Figura 4) (Arboit, 2012).

Figura 4: Áreas verdes.
Figure 4: Green areas.

Se toma como referente para el estudio, el trabajo de relevamiento de especies representativas en la Ciudad de Mendoza (Cantón, 2000). En la temática de la forestación urbana en zonas áridas argentinas; los trabajos: a. El Método fotográfico- computacional de determinación de la permeabilidad del arbolado a la RS (radiación solar); b. El Modelo analítico-computacional de determinación del área

sombreada por árboles de forma asimilada a esferas y elipsoides de revolución; y c. Modelo analítico- computacional de determinación de la energía solar disponible en medios urbanos forestados (Cantón, 1993- 2004) y estudios de determinación de permeabilidades arbóreas en invierno y verano de especies forestales más usuales de la forestación pública de las ciudades de Mendoza y de San Juan, (Cantón 1996, 2001;

Papparelli, 1996; Kurbán, 2002) han sido tomados como referentes.

Tabla 1: Cantidad de árboles por departamento. Fuente: Informe Municipalidades.

Table 1: Quantity of trees per public district. Source: Informe Municipalidades.

Departamento	N° de Árboles
Capital	50000
Las Heras	70000
Godoy Cruz	120000
Maipú	120000
Luján de Cuyo	160000
Guaymallén	370000

Tabla 2: Permeabilidad de las especies presentes en el medio urbano. Fuente: Cantón 1993,1996, 2001.

Table 2: Permeability of the species present in urban environments. Source: Cantón 1993,1996, 2001.

	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Plátano	14,21	24,09	38,61	16,39
Morera	11,70	36,21	41,06	14,53
Fresno	15,96	27,47	12,91	18,88
Paraíso	22,23	46,23	48,00	19,79

Sin embargo para determinar la permeabilidad arbórea a la radiación solar en entornos urbanos de baja densidad del AMM, ha sido necesario realizar un análisis de la representatividad de especies y ampliar los casos de estudio a dos nuevas especies.

1.1 Representatividad de las especies en el Área Metropolitana de Mendoza.

En los entornos de baja densidad existe una relación de uniformidad de plantación de especies en morfologías urbanas de construcción regular y homogénea pertenecientes a los conjuntos habitacionales de viviendas sociales, contrariamente, en morfologías urbano-edilicias heterogéneas de construcción lote a lote la implantación de especies es también heterogénea e irregular. A partir del relevamiento fotográfico in-situ de 1,750 ejemplares (Arboit, 2008) se determinaron muestras de las especies más usuales de 32 entornos urbanos representativos

de baja densidad (Arboit, 2010) detectando dos situaciones características en función del patrón de disposición espacial: 1. ejemplares individuales y 2. en condición de contiguos con un grado de adaptabilidad aceptable (ejemplares apareados).

Los resultados de esta etapa muestran que el sistema de entramado del arbolado urbano público en entornos de baja densidad del AMM se encuentra representado por especies como Morera (*morus alba*) 41,68%, Fresno europeo (*Fxaxinius excelsior*) 13,05% y Paraíso (*Melia azedarach*) 3,58%, existen en urbanizaciones recientes fuertes tendencias de plantación de Acer (*Acer negundo*) 9,95% y Paraíso sombrilla (*Melia azedarach fm. umbraculifera*) 8,37%, las dos últimas con gran variedad morfológica de ejemplares (Tablas 3 y 4, Figura 5).

Tabla 3: Resultados de la muestra en entornos de baja densidad analizados. Fuente: Martínez, 2005.

Table 3: Results of the sample from low-density environments analyzed. Source: Martinez, 2005.

N°	Especie	%
1	Morera (<i>Morus alba</i>)	41,68
2	Fresno europeo (<i>Fxaxinius excelsior</i>)	13,05
3	Acer (<i>Acer negundo</i>)	9,95
4	Paraíso sombrilla (<i>Melia azedarach fm. umbraculifera</i>)	8,37
5	Otros	26,95

Tabla 4: Resultados de otras especies encontradas en entornos de baja densidad del AMM. Fuente: Martínez, 2005.

Table 4: Results of other species found in low-density environments in the MMA. Source: Martinez, 2005.

N°	Especie- Otros	%
1	Acacia (visco 50% y blanca 50%) (<i>Robinia pseudoacacia</i>)	4,00
2	Olmo (<i>Ulmus carpiniifolia</i>)	3,95
3	Fresno americano (<i>Fraxinus americana L.</i>)	3,68
4	Paraíso (<i>Melia azedarach</i>)	3,58
5	Ciruelo rojo (<i>Prunus cerasifera var. Pisardii</i>)	2,16
6	Liquidambar (<i>Liquidambar styraciflua</i>)	1,68
7	Otros	7,98

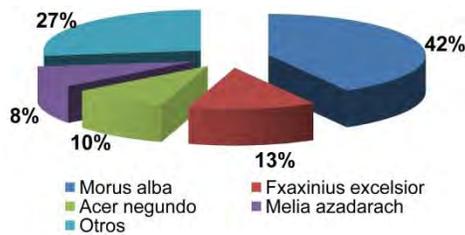


Figura 5: Representatividad porcentual del arbolado en entornos de baja densidad del AMM. Fuente: Martínez, 2005.

Figure 5: Representative percentages of urban forest in low-density environments in the MMA. Source: Martínez, 2005.

2. Metodología

2.1 Permeabilidad del Arbolado

Selección de Ejemplares

Siguiendo la metodología desarrollada en la UID, se seleccionó un conjunto de 8 ejemplares por especie, contemplando la diversidad de formas de los ejemplares de una misma especie presentes en las condiciones urbanas de baja densidad analizadas.

Se determinaron 4 subclases dentro de cada tipología para las dos especies seleccionadas *Acer (Acer negundo)* y *Paraíso sombrilla (Melia azedarach fm. umbraculifera)* por las características morfológicas de su copa A. B. C. D (Figuras 6-9).

La selección incluyó un análisis de los diversos indicadores agronómicos, urbanos y edilicios. Los Indicadores Agronómicos tienen como criterio de selección: uniformidad de especies, tamaño de plantación, magnitud forestal, forma del árbol, ancho de copa (diámetros cruzados- altura de fuste y total), diámetro de tronco, ángulo de inserción de ramas. Además de la pendiente del terreno, las intervenciones por poda, el riego, fertilización y tratamientos fitosanitarios. Otros indicadores son los Urbanos, los cuales se determinan en base a la forma y orientación de las manzanas, el ancho de canal vial, ancho vereda, ancho cantero (tipo), ubicación en vereda, acequias- corte y materialidad, abertura tipo para riego de arbolado, retiros edilicios de la línea municipal, posición relativa del ejemplar (distancia de ejemplares próximos). Por último se consideran los indicadores edilicios: morfología edilicia, factor de forma, FOS, FOT, saliente s/vereda y perfil de la construcción.

2.1.2 Determinación de la permeabilidad del arbolado.

La metodología para determinar la permeabilidad del arbolado a la radiación solar se basa en la toma de imágenes y el cómputo por software de imágenes fotográficas que permite cuantificar la radiación solar disponible en medios urbanos vegetados (Cantón 1993,1996, 2001).

Toma y procesamiento de imágenes

El método se basa en la toma de imágenes de alto contraste entre la copa del árbol y el cielo, tomadas en ausencia de sol desde el plano de sombra arrojada por el copa y en un ángulo de altitud y azimut coincidentes con los del sol. El programa de mediciones fue organizado en cuatro periodos que corresponden con las distintas estaciones de un ciclo anual (Figura 10).

La densidad de la copa de los árboles no es homogénea, por lo tanto, sobre cada uno de ellos se realizaron tomas fotográficas desde cuatro puntos equidistantes del tronco de modo de obtener un valor promedio de permeabilidad de las diferentes zonas de la copa del árbol (Figura 11).

Las imágenes son procesadas por un programa de tratamiento de imágenes Photofinish; a los efectos de convertir las mismas a blanco y negro. (Fig. 13, 15 y 16). Se define posteriormente las áreas de interés para el estudio de permeabilidad (Figura 14 y 16).

Mediante un programa de conteo de puntos blancos y negros desarrollado en UID (Cantón 1993,1996, 2001), se procesaron las imágenes, obteniendo los valores medios de permeabilidad por especie. El programa reproduce en la pantalla la imagen gráfica e imprime el porcentaje de permeabilidad, la cantidad de líneas y píxeles/línea y el nombre del archivo.

3. Resultados

Se presentan los resultados para las estaciones de verano e invierno calculado para una de las muestras, con el fin de identificar en forma detallada la totalidad del trabajo realizado con cada ejemplar arbóreo. La misma metodología de trabajo se realizó para primavera y otoño y para los 8 ejemplares evaluados.

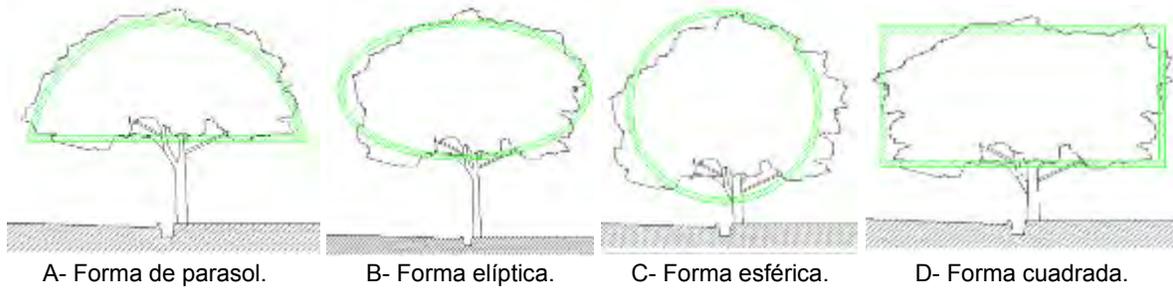


Figura 6: Tipos de Copa de Paraíso Sombrilla (*Melia azedarach fm. umbraculifera*). Tipología Individual (Tipologías C y D no permite el paso por debajo de la copa). Fuente: Martínez, 2005.

Figure 6: Umbrella Chinaberry (*Melia azedarach fm. umbraculifera*) Crown Types. Individual Typology (Types C and D do not allow passage below the crown.). Source: Martínez, 2005.

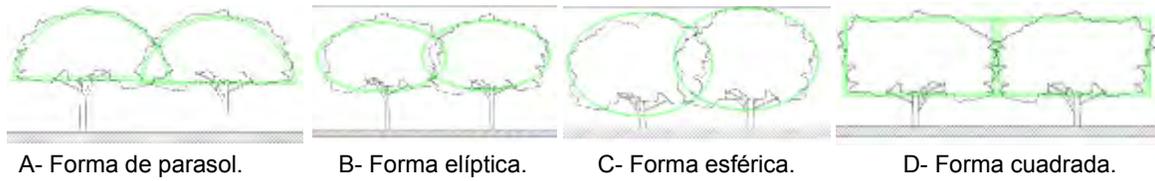


Figura 7: Tipos de Copa de Paraíso Sombrilla (*Melia azedarach fm. umbraculifera*). Tipología Agrupada y Solapada. (Tipologías C y D no permite el paso por debajo de la copa). Fuente: Martínez, 2005.

Figure 7: Umbrella Chinaberry (*Melia azedarach fm. umbraculifera*) Crown Types. Grouped and Overlapping Typology (Types C and D do not allow passage below the crown.). Source: Martínez, 2005.

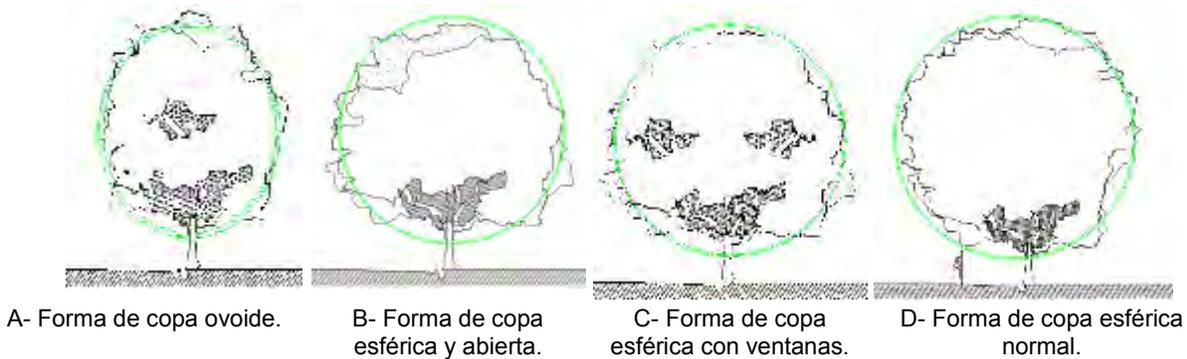


Figura 8: Tipos de Copa de ACER (*Acer negundo*). Tipología Individual. Fuente: Martínez, 2005.

Figure 8: Box elder (*Acer negundo*) Crown Types. Individual Typology). Singular type. Source: Martínez, 2005.

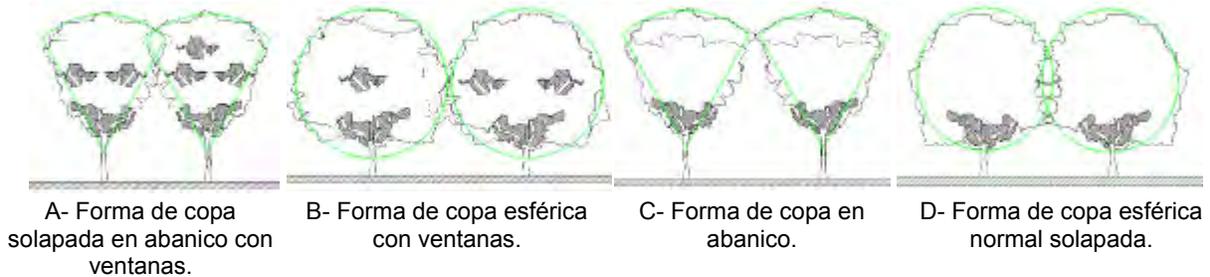


Figura 9: Tipos de Copa de ACER (*Acer negundo*). Tipología Agrupada. Fuente: Martínez, 2005.

Figure 9: Box elder (*Acer negundo*) Crown Types. Grouped and Overlapping Typology. Source: Martínez, 2005.



Figura 10: Fotos de cuatro períodos de mediciones. Acer Tipología Individual.
Figure 10: Photos of four measurement periods. Box elder Individual Typology.

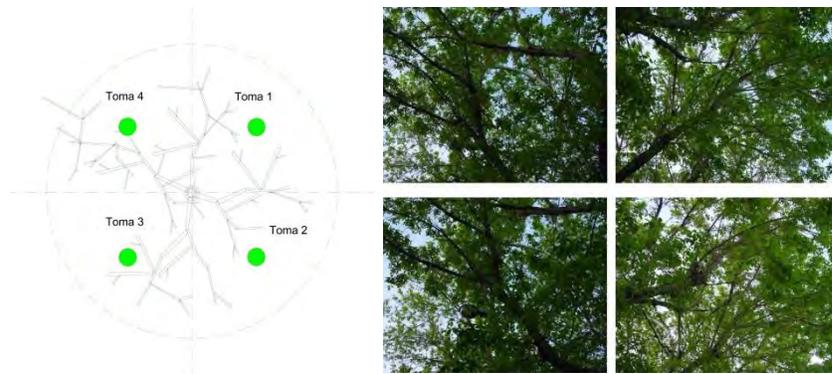


Figura 11: Metodología de toma de imágenes. Período primavera (fecha de foto 27/09). Acer Tipología Individual. Forma de copa esférica.

Figure 11: Image-Taking Methodology. Spring period (photo date 27/09). Box elder Individual Typology. Spherical crown shape.



Figura 12: Imagen color.
Figure 12: Color image.



Figura 13: Imagen blanco y negro.
Figure 13: Black and white image.



Figura 14: Selección del área de interés.
Figure 14: Selection of area of interest.



Figura 15: Imagen blanco y negro.
Figure 15: Black and white image.

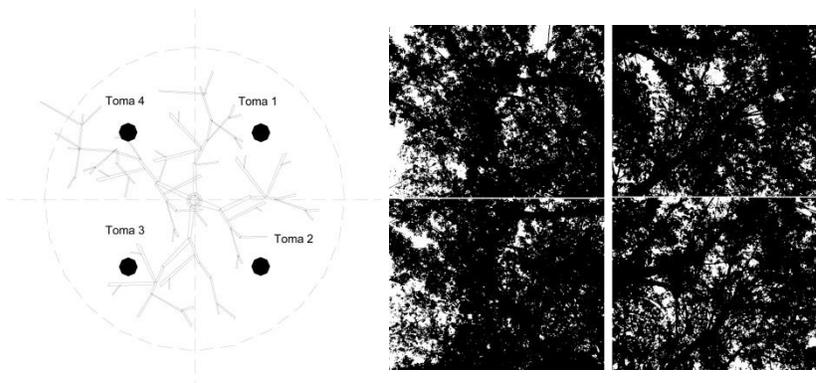
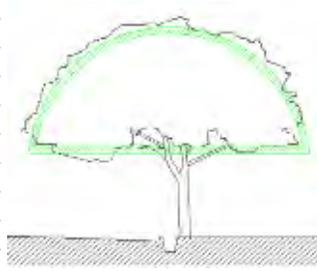


Figura 16: Imágenes blanco y negro con recorte de superficies de borde. Período primavera. Acer Tipología Individual. Forma de esférica.

Figure 16: Black and white images with border surface cropping. Spring period (date of pictures 27/09). Box elder Individual Typology. Spherical form.

Identificación	Escenario N°	27
	Manzana Forma	5
Indicadores Urbanos	Manzana Orientación	-24
	Canal Vial	19.00
	Ancho vereda	5.00
	Cantero	Verde
	Ubicación en vereda	Note
Indicadores Edilicios	Morfología Edilicia	Homo.
	Factor de Forma	0.61
	FOS	0.58
	FOT	0.58
	Saliente s/vereda	r- nr-parasoles
	Retiros	-



Denominación Foto: 8. Manzana: 04-08-06-0022 Calle: Molina Cabrera N°: 4165

Figura 17: Paraíso Sombrilla-Tipología Individual. Tipo de Copa A- Forma de paraguas.
Figure 17: Umbrella Chinaberry-Individual Typology. Crown Type A- Umbrella shape.

Tabla 5: Ficha de medición estación VERANO.
Table 5: Schedule of SUMMER measurements.

Estación	Fecha	Hora	Foto
VERANO	23/Diciembre	07:00	1
	23/ Diciembre	07:01	2
	23/ Diciembre	07:03	3
	23/ Diciembre	07:05	4

PARAÍSO SOMBRILLA	
TIPOLOGÍA INDIVIDUAL	
Tipos de Copa A- Forma de parasol	



Figura 18: Fotos estación de verano. Paraíso Sombrilla-Tipología Individual. Forma de copa de paraguas.
Figure 18: Pictures of the summer season. Umbrella Chinaberry-Individual Typology. Umbrella crown shape.

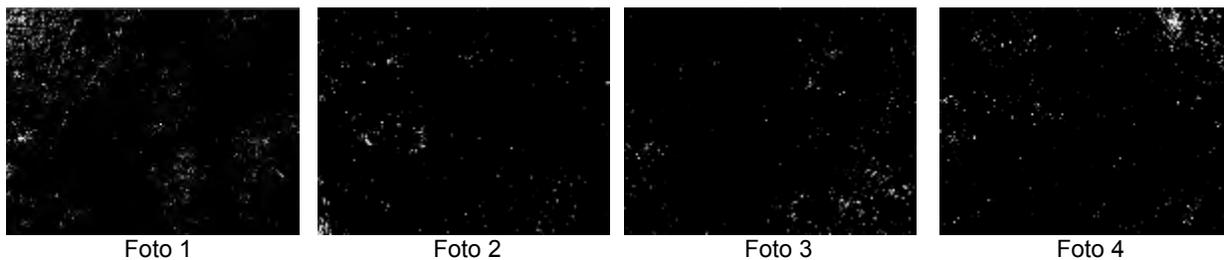


Figura 19: Imágenes blanco y negro. Estación de verano con recorte de superficies de borde. Paraíso Sombrilla-Tipología Individual. Forma de copa de paraguas. Selección de áreas de interés.
Figure 19: Black and white images with cropped border surfaces. Summer season. Umbrella Chinaberry-Individual Typology. Umbrella crown shape. Selection of areas of interest.

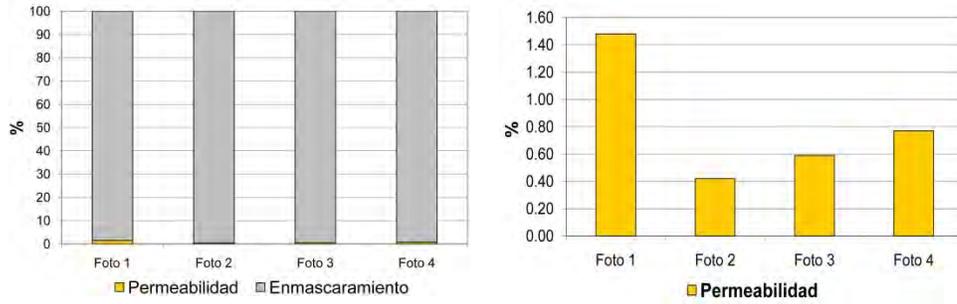


Figura 20: Porcentajes de permeabilidad y enmascaramiento en estación de verano. Paraíso Sombrilla- Tipología Individual. Forma de copa de parasol.
Figure 20: Percentages of summer season permeability and solar masking. Umbrella Chinaberry-Individual Typology. Umbrella crown shape.

Tabla 6: Ficha de medición estación de INVIERNO.
Table 6: Schedule of WINTER measurements.

Estación	Fecha	Hora	Foto
INVIERNO	09/agosto	08:15	1
	09/ agosto	08:16	2
	09/ agosto	08:18	3
	09/ agosto	08:20	4

PARAÍSO SOMBRILLA
 TIPOLOGÍA INDIVIDUAL
 Tipos de Copa A- Forma de parasol

The diagrams show two circular views of the tree canopy. The left diagram is a top-down view with four measurement points labeled 'Foto 1', 'Foto 2', 'Foto 3', and 'Foto 4' distributed across the canopy. The right diagram is a side view with four measurement points labeled 'Toma 1', 'Toma 2', 'Toma 3', and 'Toma 4' distributed across the canopy.



Figura 21: Fotos estación de invierno. Paraíso Sombrilla-Tipología Individual. Forma de copa de parasol.
Figure 21: Pictures of the winter season. Umbrella Chinaberry-Individual Typology. Umbrella crown shape.



Figura 22: Selección del área de interés blanco y negro. Estación de invierno con recorte de superficies de borde. Paraíso Sombrilla-Tipología Individual. Forma de copa de parasol. Selección de áreas de interés.
Figure 22: Selection of areas of interest. Black and white pictures with cropping of border surfaces. Winter season. Umbrella Chinaberry-Individual Typology. Umbrella crown shape. Selection of areas of interest.

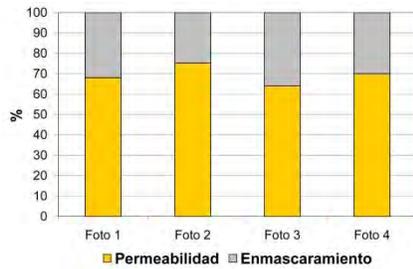


Figura 23: Porcentajes de permeabilidad y enmascaramiento en estación de invierno. Paraíso Sombrilla-Tipología Individual. Copa de parasol.

Figure 23: Percentages of winter season permeability and solar masking. Umbrella Chinaberry-Individual Typology. Umbrella crown shape.

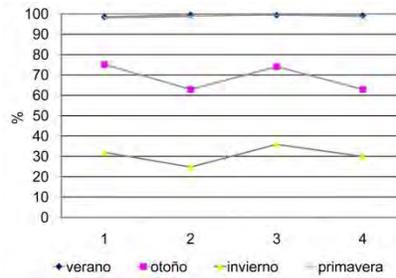


Figura 24: Porcentajes de enmascaramiento por estación. Paraíso Sombrilla-Tipología Individual. Copa de parasol.

Figure 24: Solar masking percentages for each season. Umbrella Chinaberry-Individual Typology. Umbrella crown shape.

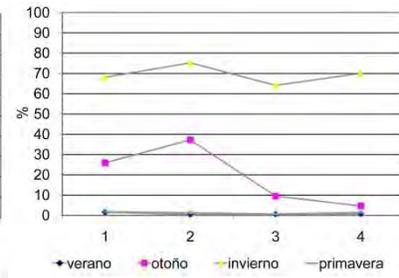


Figura 25: Porcentajes de permeabilidad por estación. Paraíso Sombrilla-Tipología Individual. Copa de parasol.

Figure 25: Permeability percentages for each season. Umbrella Chinaberry-Individual Typology. Umbrella crown shape.

Los resultados obtenidos en las Figuras 26-33 nos permiten apreciar separadamente la influencia de las dos especies arbóreas presentes en los entornos urbanos de baja densidad del AMM analizados.

En el caso de las Figuras 26 a 29 se presentan los resultados del ACER (*Acer negundo*). En la estación de calefacción se registró una disminución en la disponibilidad del recurso solar por enmascaramiento entre el 40,60% y 67,04% (Figura 27) estos valores corresponden a la obstrucción del ramaje desnudo, mientras en la estación de otoño la disminución del recurso solar presenta valores entre 43,75% y 85,15% (Figura 26). En la misma Figura la heterogeneidad de valores puede explicarse a partir de dos variables fundamentales: 1. el patrón de disposición espacial de ejemplares individuales y en condición de contiguos (ejemplares apareados) y 2. las intervenciones por poda. En la estación de verano la densidad de hojas presentes en las copas produce una homogeneidad de valores (Figura 29) (Figura 10-verano), aunque persiste una pequeña diferencia entre los ejemplares individuales y los apareados (valores del 1-16 y 16-32).

En la estación de primavera existe un ejemplar que presenta valores diversos a los valores medios; estos resultados podrían estar motivados por motivos fitosanitarios o por intervenciones de poda, problemas de riego y fertilización (dicha anomalía aparece menos acentuada en las otras estaciones del año).

En el caso de las Figuras 30 a 33 los resultados obtenidos indican que el enmascaramiento solar producido por el paraíso sombrilla (*Melia azedarach fm. umbraculifera*) es crítico con una reducción de la energía solar disponible entre el 72,90% y 91,40% en la estación de otoño y entre el 67,13% y 81,49% en la estación de invierno, debido a la alta densidad de ramaje, este valor resulta significativo siendo una especie caducifolia altamente representativa de los entornos analizados (Figuras 30 y 31. Ej. Figura 22: Fotos 1-4).

En verano los valores de enmascaramiento que tienen relación con la sombra producida por la densidad de la copa son altamente significativos entre el 93% y el 99%. (Figura 33. Ej. Ver Figura 19: Fotos 1-4)

La ventaja del paraíso sombrilla es la uniformidad morfológica, el tamaño, forma y la magnitud del forestal que si se combina correctamente con los Indicadores Urbanos y Edilicios (ancho de canal vial, ubicación en vereda, posición relativa del ejemplar, morfología edilicia, saliente sobre vereda, perfil de la construcción, retiros) podrían conseguirse óptimos resultados de superficies sombreadas sobre veredas en la estación de verano, con un buen Factor de Visión de Cielo (FVC) y de Acceso a Brisas Estivales (ABE) que contribuyen al potencial de enfriamiento radiativo y convectivo nocturno que combinado con el enfriamiento evaporativo directo o indirecto (bajo contenido de humedad atmosférica característico de las regiones áridas) permitirían sistemas de enfriamiento pasivo. Los sistemas pasivos de

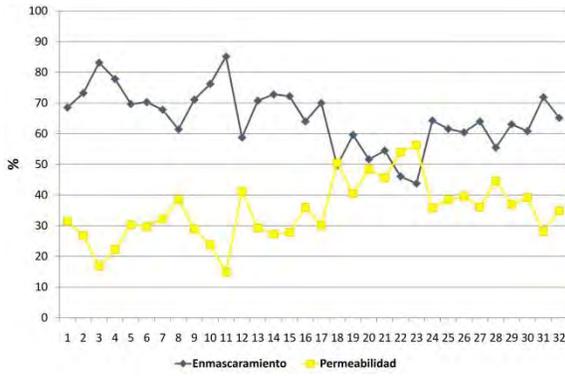


Figura 26: Otoño. ACER (Acer Negundo). Porcentaje de permeabilidad.
Figure 26: Box elder (Acer negundo). Permeability percentages.

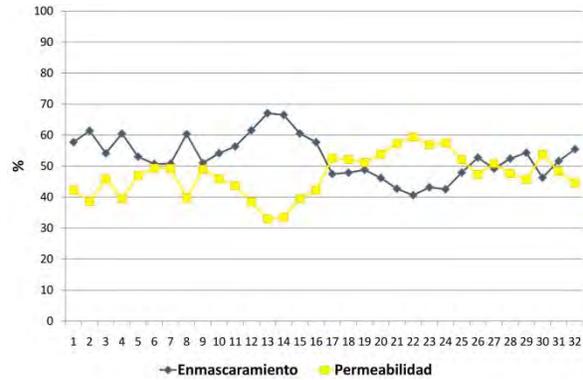


Figura 27: Invierno. ACER (Acer Negundo). Porcentaje de permeabilidad.
Figure 27: Winter. Box elder (Acer negundo). Permeability percentages.

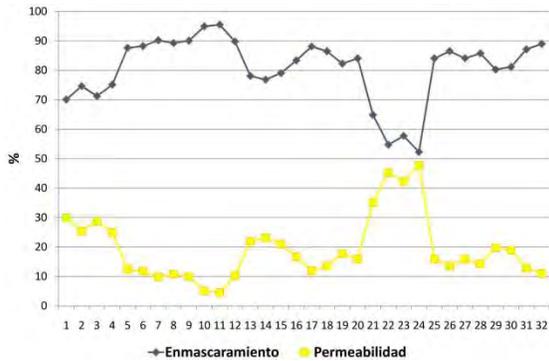


Figura 28: Primavera. ACER (Acer Negundo).. Porcentaje de permeabilidad..
Figure 28: Spring. Box elder (Acer negundo). Permeability percentages.

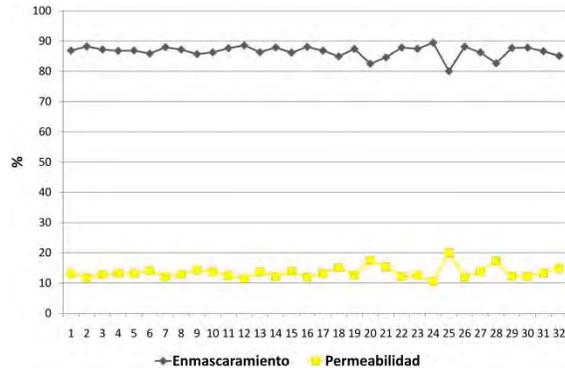


Figura 29: Verano. ACER (Acer Negundo). Porcentaje de permeabilidad.
Figure 29: Summer. Box elder (Acer negundo). Permeability percentages.

enfriamiento han demostrado ya un importante potencial de ahorros energéticos convencionales y una mejora sustancial de la calidad de vida de los habitantes urbanos en la región.

El conocimiento preciso de las reducciones en el acceso al sol en la estación de invierno, el detallado estudio de sombras arrojadas sobre fachadas, techos, calles y veredas en verano y fundamentalmente el conocimiento de las características agronómicas y morfológicas de los ejemplares son indispensables para optimizar el máximo aprovechamiento del recurso solar en invierno y permitir el enfriamiento nocturno en verano.

En la Tabla 7 se presentan los resultados obtenidos de las distintas especies analizadas, expresados en términos de porcentaje. El criterio

de análisis de los mismos contempla la información sobre la disponibilidad del recurso en la estación fría y el bloqueo del mismo en verano.

Los valores medios alcanzados indican para estas dos especies presentes en la baja densidad que existe un enmascaramiento de la radiación solar entre el 52,89% y 75,93% en la estación de invierno y entre el 85,96% y 98,39% en verano.

Los resultados hicieron posible determinar la potencialidad de captación solar en entornos urbanos de baja densidad incorporando el arbolado urbano con sus características morfológicas y de permeabilidad (Figuras 34 y 35) y definir un indicador Factor de Asoleamiento efectivo (FAE), que permite analizar la radiación total incidente en fachadas norte (fn) y techos (t) en entornos urbanos forestados (Ecuación 1). (Arboit 2008, 2010).

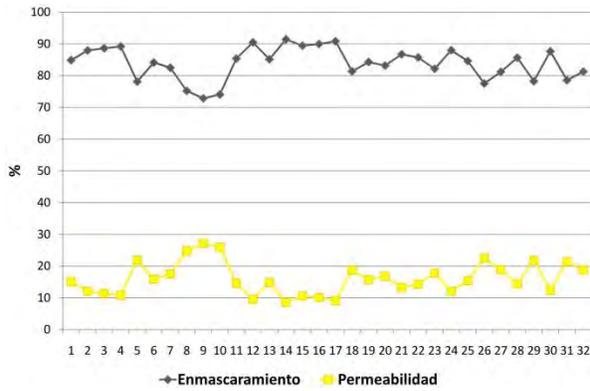


Figura 30: Otoño. Paraíso Sombrilla (*Melia azedarach* fm. *umbraculifera*). Porcentaje de permeabilidad.
 Figure 30: Autumn. Umbrella Chinaberry (*Melia azedarach* fm. *umbraculifera*). Permeability percentages. Source:

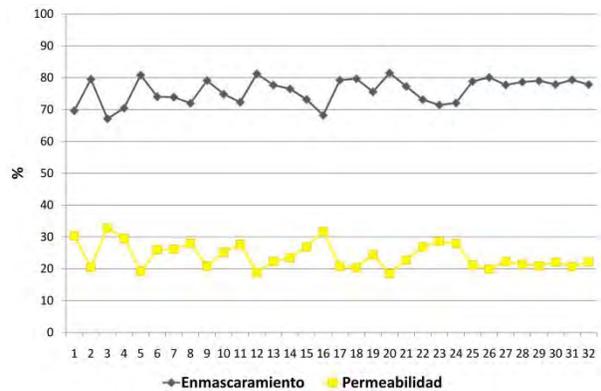


Figura 31: Invierno. Paraíso Sombrilla (*Melia azedarach* fm. *umbraculifera*). Porcentaje de permeabilidad.
 Figure 31: Winter. Umbrella Chinaberry (*Melia azedarach* fm. *umbraculifera*). Permeability percentages. Source:

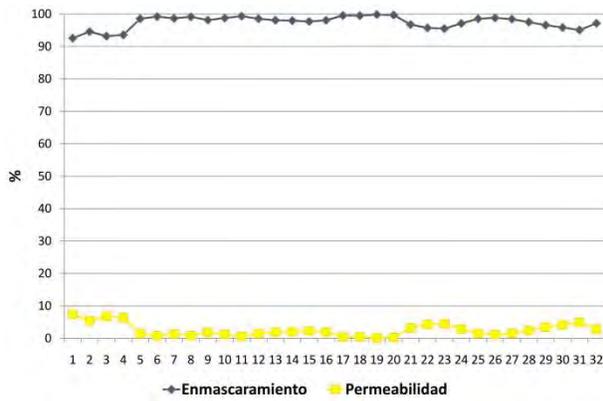


Figura 32: Primavera. Paraíso Sombrilla (*Melia azedarach* fm. *umbraculifera*). Porcentaje de permeabilidad.
 Figure 32: Spring. Umbrella Chinaberry (*Melia azedarach* fm. *umbraculifera*). Permeability percentages.

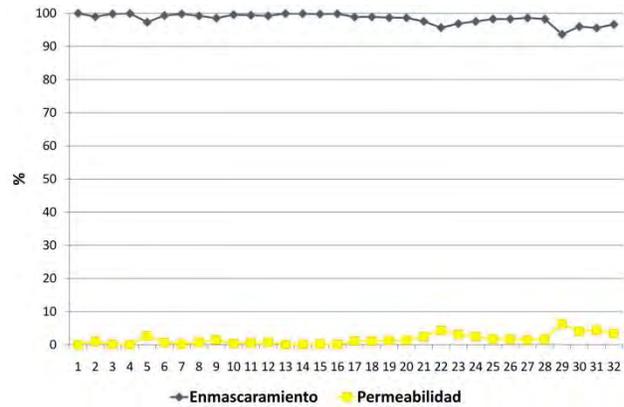


Figura 33: Verano. Paraíso Sombrilla (*Melia azedarach* fm. *umbraculifera*). Porcentaje de permeabilidad.
 Figure 33: Summer. Umbrella Chinaberry (*Melia azedarach* fm. *umbraculifera*). Permeability percentages.

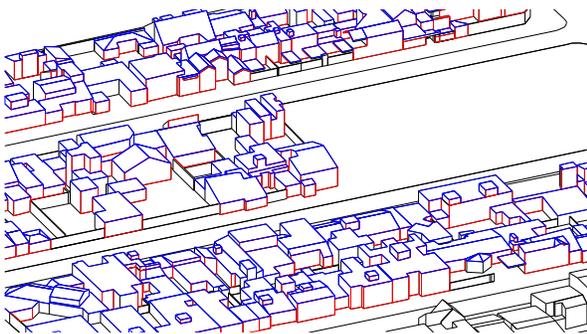


Figura 34: Imagen del cálculo del enmascaramiento sólido para determinar la potencialidad de captación solar en entornos urbanos de baja densidad.
 Figure 34: Image of the calculation of solid masking to determine potential solar access in low-density urban environments.

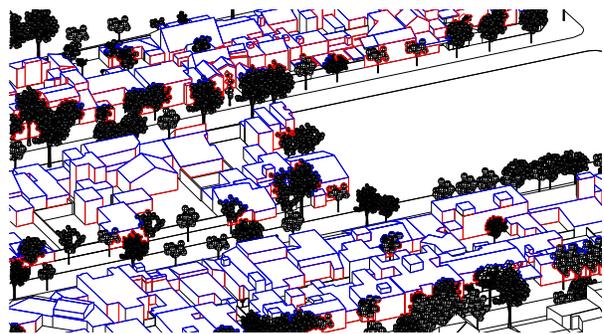


Figura 35: Imagen de la incorporación del arbolado para determinar la potencialidad de captación solar en entornos urbanos de baja densidad.
 Figure 35: Image of forest integration to determine potential solar access in low-density urban environments.

Tabla 7: Valores de permeabilidad obtenidos de mediciones para especies estudiadas en porcentaje.
Table 7: Permeability percentage values from measurements of the studied tree species.

	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
ACER	34,86	47,11	19,30	14,04
PARAÍSO	16,05	24,07	2,56	1,61

$$FAE = \frac{\sum_{m=4}^{08} \sum_{d=1}^{30} \sum_{h=9:30}^{14:30} [AFN - (AES_{m-d-h} + (AEP_{m-d-h} \cdot (1 - P_m)))] \cdot R_{m-d-h}}{AFN \cdot \sum_{m=4}^{08} \sum_{d=1}^{30} \sum_{h=9:30}^{14:30} R_{m-d-h}} \cdot 100$$

(Ecuación 1)

Dónde:

AFN: Área potencialmente colectora total en fachadas norte (m²),

AES: Área de enmascaramiento sólido (construcciones): fachada potencialmente colectora afectada por las sombras proyectadas por construcciones edilicias próximas (m²),

AEP: Área de enmascaramiento permeable (árboles): fachada potencialmente colectora afectada por las sombras proyectadas por el arbolado urbano,

P_m: Factor de Permeabilidad. Porcentajes de permeabilidad solar de cada especie vegetal (%),

R(m-d-h): Radiación en fachadas norte para cada hora, día y mes de la estación de calefacción (Wh/m²),

Sub-índices: m: mes a calefaccionar. Varía entre abril y septiembre,

d. día del mes. Varía entre 1 y 30, h: hora. Varía entre 9:00 hrs. y 18:00 hrs.

4. Conclusiones

El trabajo profundiza el conocimiento de uno de los indicadores urbanos que inciden en el potencial solar de entornos urbanos - permeabilidad del arbolado-. Los arbolados urbanos público y privado definen la situación actual de accesibilidad al recurso solar y

presentan la posibilidad mejoras futuras en las estrategias de diseño.

El estudio permitió determinar las especies existentes más usuales en los entornos de baja densidad y cuantificar la permeabilidad de dos especies de arbolado a través de un método basado en el procesamiento de imágenes fotográficas, con el fin de determinar la disponibilidad real del recurso solar en medios urbanos forestados.

Del total de 1,750 ejemplares relevados fotográficamente, 189 correspondieron a Acer (*Acer negundo*) y 159 a Paraíso sombrilla (*Melia azedarach fm. umbraculifera*) con una representatividad del 9,95% y 8,37% respectivamente; el número muestral de 32 ejemplares contemplo 4 subclases que consideraron las características morfológicas de las copas en función del patrón de disposición espacial, por lo que se concluye que dicha muestra es representativa.

En el proceso metodológico la confiabilidad del método fotográfico ha sido previamente demostrada y contrastada con resultados de equipos de medición (Cantón 1994, 2000), (Kurbán, 2006) la limitación más importante del método es la elección de las áreas de interés para el estudio de permeabilidad que requiere de uno o varios recortes dentro de la fotografía en los cuales la experiencia del investigador juega un papel fundamental.

Para las dos especies analizadas Acer (*Acer negundo*) y Paraíso sombrilla (*Melia azedarach fm. umbraculifera*) el impacto del enmascaramiento producido por los ramajes desnudos de la arboleda urbana es considerable en invierno, esto condiciona el potencial bioclimático de los entornos urbano- edilicios. Sin embargo, esta limitación, puede ser compensada mediante mejoras en aspectos de conservación, los beneficios de la arboleda urbana en la

estación cálida son múltiples: control de la intensidad de la isla de calor urbana, absorción de contaminantes, refrescamiento y humectación del aire por evapotranspiración, reducción de las cargas térmicas de los edificios, habitabilidad de los espacios públicos abiertos y un aporte inestimable a la estética urbana.

Los resultados de este estudio permitieron la incorporación del arbolado urbano con sus características morfológicas y de permeabilidad en el análisis del potencial solar de los entornos representativos de baja densidad del AMM. El avance futuro de la investigación se orienta a realizar un estudio comparativo de los valores de potencialidad solar simulados (Modelo Gráfico y Modelo Estadístico. Arboit 2008, 2010) y los valores de radiación solar medidos en Fachadas Norte, con equipos portátiles de adquisición de datos de irradiancia (piranómetro), siempre considerando la presencia del arbolado urbano.

Se espera establecer la optimización del aprovechamiento solar para cada zona y la elaboración de lineamientos de diseño apropiados para la implementación de una legislación que regule el aprovechamiento pleno del recurso solar en la ciudad, compatibilizado con el modelo de ciudad arbolada.

Es posible alcanzar niveles aceptables de calidad ambiental urbana avanzando hacia un modelo de ciudad y de gestión que maximice el uso racional de la energía y de los recursos climáticos regionales en los edificios urbanos. De esta forma se podrían alcanzar, en forma progresiva, mejoras sustanciales en los índices de eficiencia energética y de sostenibilidad energético-ambiental de entornos urbanos en la región.

Agradecimientos

Al Arq. Carlos de Rosa y a la Arq. Alicia Cantón por su gran contribución y asistencia en sus especialidades, principalmente en la parte Metodológica, y a la Dra. Ing. Claudia Martínez por la Identificación y Cuantificación de ejemplares no evaluados hasta el momento, desde el punto de vista de la permeabilidad, y por la Selección de Ejemplares.

Referencias Bibliográficas

Arboit, M., Diblasi, A., Fernández Llano, J. C. y de Rosa, C. (2008). Assessing the solar potential of low density urban environments in andean cities with desert climates - The case of the city of Mendoza, in Argentina. *Renewable Energy*. 33, 8, pp.1733-1748.

Arboit, M., Mesa, A., Diblasi, A., Fernández, J. C. y de Rosa, C. (2010). Assessing the solar potential of low density urban environments in andean cities with desert climates - The case of the city of Mendoza, in Argentina. 2nd. Part. *Renewable Energy*. 35 pp.1551-1558.

Arboit, M. y De Rosa, C. (2012). Trazado urbano para la sostenibilidad energético ambiental del parque edilicio en ciudades andinas. Caso: Área Metropolitana de Mendoza, Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 29, pp. 25-32.

Arboit, M. (2008). Optimización de la morfología urbana para el desarrollo ambiental y energéticamente sustentable de ciudades andinas de clima árido. El caso del área metropolitana de Mendoza. Tesis Doctoral. Universidad de Mendoza.

Arnold, H.F. (1980). *Trees in Urban Design*. Van Nostrand Reinhold Company, New York.

Basso, M., Fernández, J.C., Mesa, N., Córca, M. L y De Rosa C. (2003) Urban morphology and solar potential of the built environment in Andean Cities of Hispanic Layout. Assessing proposals towards a more sustainable energy future. 20th Conference on Passive and Low Energy Architecture, PLEA. Santiago – Chile.

Bernatzky, A. (1982). The contribution of trees and green spaces to a town climate. *Energy Build*.

Bórmida, E. (2005). Mendoza. Guía de arquitectura. Mendoza, Sevilla, Brizzolis.

Brager, G, y De Dear, R. (2001). Climate, Comfort and Natural Ventilation: A new adaptive comfort standard For ASHRAE Standard 55. *Proceedings of the Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century*. pp.01-18, Windsor, UK.

Cantón A., Cortegoso J.L. y De Rosa, C. (2000). Evaluación energético - ambiental del bosque urbano: desarrollo y puesta a punto de un método de análisis. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 4,1,13-17.

Cantón M. A., Cortegoso J.L., Mesa, N.A. y De Rosa C. (2001). Sustentabilidad energética del parque edilicio en entornos urbanos forestados. Análisis de la disponibilidad del recurso solar en la estación fría. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 5, 1, pp. 01.27-01.32.

Cantón, M. A., Cortegoso, J. L. y De Rosa, C. (1994). Cuantificación del efecto del arbolado en tramas urbanas. Primeros resultados de la aplicación de un modelo de cálculo analítico computacional. *Actas de la XIX Reunión de Trabajo de ASADES*. Rosario, Santa Fe, p.p. 223-228.

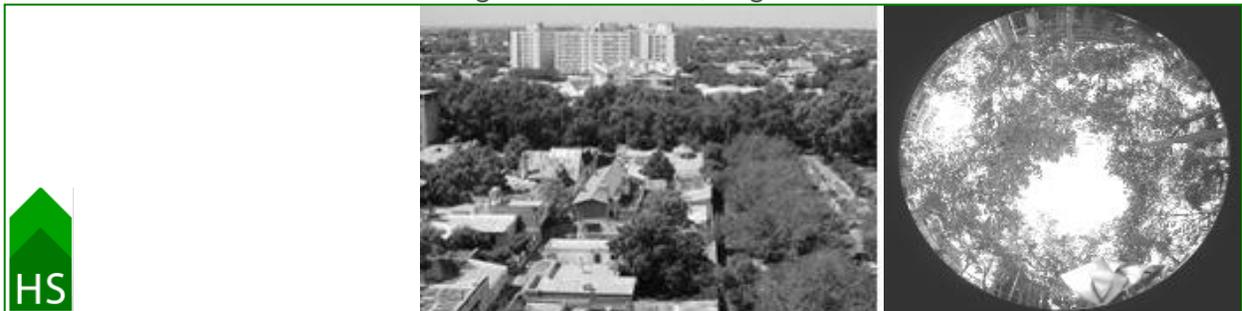
Cantón, M. A., Cortegoso, J. L. y De Rosa, C. (1994). Solar permeability of urban trees in cities of western Argentina. *Energy & Buildings-Berkeley-USA*, 20, 3, pp. 219-230.

Cantón, M. A., Cortegoso, J. L. y De Rosa, C. (2003). Assessing the solar resource in forested urban environments: results from the use of a photographic-

- computational method. *Architectural Science Review*, 46, 2, pp. 115-123.
- Cantón, M. A., Cortegoso, J. L. y De Rosa, C. (2004). Evaluación de modelos de desarrollo del arbolado urbano desde la perspectiva de la habitabilidad de los espacios abiertos en verano. Congreso internacional. ENTAC04. Guanajuato, México.
- Cantón, M. A., Cortegoso, J. L. y De Rosa, C. (2000). Environmental and energy impact of the urban forest in arid zone cities. *Architectural Science Review*, 44,1, 3-16. Department of Architectural and Design Science. University of Sydney. Sydney, Australia.
- Clark, J. R., Matheny, N. P., Cross, G. y Wake, V. (1997). A model of urban forest sustainability. *Journal Arboriculture* 23, 17-30.
- Córica L., Patini A. y De Rosa C. (2004). Potencial de iluminación natural de espacios habitables en función de la morfología urbana circundante, para climas soleados. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Salta, Argentina.
- Correa, E. (2008). Isla de Calor Urbana – El caso del Área Metropolitana de Mendoza. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Salta.
- De Rosa C, et. al. (1988). Low-cost Passive Solar Homes built in a Tempered Arid Climate. Thermal and Economic Evaluation. *Proceedings of the 6th. International PLEA Conference*, pp. 795-802. Porto, Portugal.
- Dirección de Planificación Urbanística de la Ciudad de Mendoza. (2009). Ordenanza de Zonificación por Indicadores Urbanos.
- Fernández, J., Esteves, A. y De Rosa C. (1992). Zonificación climática de la Provincia de Mendoza. XV Reunión de Trabajo de ASADES. San Fernando del Valle de Catamarca.
- Flemer, W. (1981). Mixing species of shade trees for beauty and safety. *Journal Arboriculture*.
- Jenks, M., Burton, E. y Williams, K. (1996). The Compact City. A Sustainable Urban Form? E&FN SPON. UK.
- Kurbán, A., Papparelli, A. y Cúnsulo, M. (2002). Aporte de la forestación al control del clima urbano en zona árida. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 6, 1, 05.43-05.48
- Martínez, C., Roig, F., Cavagnaro, B. y Cantón, A. (2008). Arbolado urbano: impacto del estrés hídrico en el crecimiento de forestales jóvenes de uso común en ciudades áridas, Mendoza, Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Cap. 1, 33-36.
- Mascaró, L. (1996). *Ambiencía urbana*. European Comisión, Directorate-General XVII, Energy. Faculdade de Arquitetura – UFRGS. Sagra – D.C. Luzzato Editores, Porto Alegre.
- Mcpherson, E. G. (1992). Accounting for benefits and cost of urban greenspace. *Landscape and Urban Planning*.
- Mesa, N.A. (2000). Determinación de áreas de fachadas potencialmente colectoras en medios urbanos, a través de un modelo gráfico-computacional. *Memorias: ISES Millennium Solar Forum*. ANES, México, DF.
- Montaña, E. (2005). De la Cultura del Riego y del Aménagement du Territoire a la Vulnerabilidad del Patrimonio Urbano. El Sistema Calle-Acequia-Árbol en la Ciudad-oasis de Mendoza, en Argentina; *Cahiers de l'Amérique Latine*, CREDAL, Paris, Francia.
- Owens S. (1986). *Energy planning and urban form*. London: Pion Ltd.
- Panasiti, A. (1994). Los espacios verdes en el ordenamiento territorial del Gran Mendoza. Universidad Nacional de Cuyo.
- Papparelli, A., Cúnsulo, M., Montilla, E. Y Kurbán, A. (1996). Eficiencia bioclimática arbórea en entornos urbanos de zona árida. *Actas de la XIX Reunión de Trabajo de ASADES Tomo II*. pp. 9.05-9.09.
- Pastor, G. (2010). Consideraciones sobre el impacto en el Paisaje Urbano de Mendoza a partir de las Reformas propuestas al Código Urbano y de Edificación de la Ciudad de Mendoza, inédito.
- Richards, N. (1992). Optimum stocking of urban trees *Journal Arboriculture*
- Rowntree, R.A. (1986). Ecology of the urban forest-introduction top art II. *Urban Ecol*.
- Sánchez, D. y Pastor, G. (2009). El Patrimonio Cultural en la Modelización de los Futuros Escenarios de Ordenación + Sostenibles. Ponencia publicada en *Actas del II Congreso Internacional de Medida y Modelización de la Sostenibilidad*. ICSMM 09. Barcelona, España.
- Santamouris, M. (2000) *Energy and Climate in the Urban Built Environment*. James and Jamnes. London.
- Scudo, G. y Ochoa De La Torre, J. M. (2003). *Spazi Verdi Urbani. La vegetazione come strumento di progetto per il confort ambientale negli spazi abitati*. Esselibri. Napoli.
- Tacchini, J. et al. (1994) *Mendoza en el 2000. Proyecto de ordenamiento territorial para la provincia I. Plan sectorial para el Gran Mendoza*. Centro Coordinador de Ediciones Académicas. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo.

Evaluación de las condiciones térmicas de verano y eficiencia ambiental de distintos diseños de plazas urbanas en Mendoza, Argentina

Evaluation of summer thermal conditions and the environmental efficiency of different urban square designs in Mendoza, Argentina



Susana Stocco [sstocco@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:sstacco@mendoza-conicet.gob.ar)

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) – Mendoza, Argentina

María Alicia Cantón macanton@mendoza-conicet.gob.ar

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) – Mendoza, Argentina

Érica Correa ecorrea@mendoza-conicet.gob.ar

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Mendoza, Argentina



RESUMEN

Palabras clave

Plazas Urbanas,
Morfología,
Comportamiento Térmico,
Eficiencia Ambiental

El objetivo de este trabajo es evaluar las consecuencias de las decisiones de diseño sobre el comportamiento térmico y la eficiencia ambiental de las plazas de la ciudad de Mendoza. A tal fin se seleccionaron tres casos de estudio, donde se evaluó el comportamiento de distintas estructuras presentes en las plazas. Para ello se desarrollaron mediciones de temperatura del aire mediante sensores fijos, durante un periodo de 40 días en la estación verano de 2012, los sensores fueron ubicados en las diferentes estructuras (bosque, prado y centro) de la plaza y en su entorno urbano, siguiendo un eje en sentido norte-sur. Además se determinó el valor del factor de visión de cielo (SVF) y la digitalización hemisférica de la trayectoria solar para todos los puntos evaluados. Los resultados ponen de manifiesto la necesidad de reflexionar y revisar las estructuras de plazas existentes, en cuanto a sus esquemas de diseño, dado que el esquema tradicional que plantea una distribución de espacios en forma simétrica, parece no ser el que combina en forma más eficiente las distintas variables involucradas en el comportamiento térmico de la plaza: materialidad, distribución de la vegetación y exposición solar. Además se observa que a menor densidad edilicia del entorno urbano en el cual se inserta la plaza, sus condiciones térmicas y su eficiencia ambiental pueden mejorarse, casi con independencia de otros factores, mediante un diseño apropiado del espacio.

ABSTRACT

Key Words

Urban Squares,
Morphology,
Thermal behavior,
Environmental efficiency

The aim of this study is to assess the impact of design decisions on the thermal performance and environmental efficiency of the squares in Mendoza's city. Three case studies were selected to evaluate the performance of different structures on the squares. Air temperature measurements were registered by fixed sensors for a 40 days period in the warm season of 2012. The sensors were placed in different structures (forest, meadow and centre) of the square and its urban environment, along an axis oriented from north to south. Also, the value of the sky view factor (SVF) was estimated and it was digitized the hemispheric solar path for all points evaluated. The results highlight the need to reexamine the structures of existing spaces from the point of view of their design schemes. The traditional square of symmetrically distribution does not seem to combine, in an efficient way, the different variables involved in its thermal behavior: materiality, distribution of the vegetation and sun exposure. It was also observed that thermal and environmental efficiency can be improved, independently of other factors, with an appropriate space design when the square is placed in an urban environment characterized by a low building density.

1. Introducción

La incorporación de espacios abiertos vegetados en las ciudades genera beneficios ambientales, sociales y económicos. En cuanto a sus beneficios ambientales mejoran el microclima de la ciudad; atenúan las temperaturas extremas, controlan la radiación solar (llegan a reducir hasta el 90% de la radiación sobre las superficies) (Heisler, 1986), disminuyen brillos y reflejos; (Sorensen, et al., 1996), optimizan las condiciones de confort, contribuyen a la rehidratación de la atmósfera y al refrescamiento del aire en zonas de climas áridos (Rosenfeld, et al. 1998; Santamoris, 2001). La combinación de la sombra arrojada por el árbol, los niveles de evapotranspiración y los efectos del viento pueden reducir la temperatura del aire hasta 5.0°C (Akbari et al., 1992).

Actualmente, existen estándares internacionales para calificar y cuantificar los efectos de los espacios verdes públicos en la trama urbana, uno de estos índices es la cantidad en metros cuadrados de espacio verde por metros cuadrados de espacio construido. Sin embargo, estos índices ponen énfasis sólo en las superficies involucradas pero no sus características de diseño, tipo de espacio verde, su distribución, materialidad y las proporciones de árboles, arbustos y césped.

Mendoza, ciudad en estudio, está ubicada al centro oeste de la república Argentina, a 32° 40' Latitud Sur, 68° 51' Longitud Oeste y 827 metros sobre el nivel del mar. Su clima es árido y seco caracterizado por inviernos fríos, veranos calurosos, con importantes amplitudes térmicas diarias- estacionales y escasas lluvias (250 mm anuales promedio). Consta con 2.762 horas anuales de sol. Su estructura urbana está caracterizada por una trama abierta en damero, con fuerte presencia de espacios verdes y arbolado en alineación. Este modelo es el resultado de su estructura fundacional posterremoto, la cual consta de una plaza central y cuatro plazas equidistantes de la principal proporcionando una relación 1:4 manzanas verde-construidas (Martínez et.al., 2009). Su organización urbana está conformada por distintas estructuras espaciales que se superponen; la primera es el verde, dispuesto en distintas categorías: arbolado de alineación en calles, plazas y parques, haciendo habitables los espacios abiertos. El soporte físico del conjunto está conformado por manzanas cuadradas o

rectangulares, calles y veredas anchas de 16 m, 20 m y 30 m. Siendo esta estructura reconocida internacionalmente como ciudad "oasis" (Bormid, 1984).

Sin embargo, el desarrollo urbano del siglo XX ha debilitado el modelo debido a un conjunto de razones derivadas del crecimiento edilicio, el incremento de los factores de ocupación del suelo (FOS) para el micro centro, la falta de normativas que regulen el espacio abierto hacia el interior de la manzana, el avance de entes privados sobre los límites de los espacios abiertos, etc. Si se compara el crecimiento del área urbanizada respecto del área verde en el periodo 1990 – 2006, la primera aumentó de 1.900 ha a 2.215 ha y los espacios abiertos de 541 ha a 547 ha (Informe Gestión de la Urbanización en Ciudades Turísticas, 2006). Estos valores indican en términos porcentuales un crecimiento del área urbanizada del 16% respecto a un 1% de los espacios verdes. Estos valores indican que la ciudad presenta un porcentaje de espacios verdes inferior al índice recomendado (25%) y que ha decrecido en menos de dos décadas de 22% al 19,8%. (Cantón et al., 2003).

Además, las modificaciones en las condiciones naturales de espacios abiertos como resultado de nuevas tendencias de diseño, no apropiadas para climas áridos como el de Mendoza, fueron reemplazando los espacios verdes por áreas selladas de materiales diversos, produciendo alteraciones en perjuicio del microclima local.

Este trabajo tiene por objeto evaluar las consecuencias de las decisiones de diseño implementadas en las plazas de la ciudad de Mendoza sobre el comportamiento térmico de esta categoría de espacio abierto vegetado y su influencia sobre su entorno urbano mediato. El objetivo final es proponer el diseño más eficiente en torno a maximizar los beneficios asociados al uso de dichos espacios en zonas áridas y revertir los impactos negativos de la urbanización sobre la habitabilidad de las ciudades.

2. Metodología

2.1 Casos de estudio

Se han evaluado las condiciones térmicas de tres casos de estudio en la ciudad de Mendoza con características distintas en Términos de



Figura 1: Mendoza, Argentina: Espacios verdes. Fuente: pro-mza.com.ar.
Figure 1: Green spaces in Mendoza, Argentina. Source: pro-mza.com.ar



Contexto urbano de alta densidad edilicia. Caso 1 -2.



Contexto urbano de baja densidad edilicia. Caso 3.

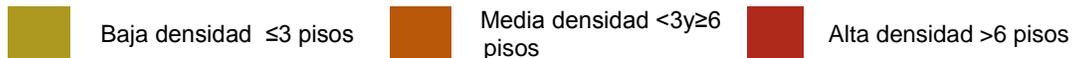


Figura 2: Localización de casos de estudio en el área metropolitana de Mendoza.
Figure 2: Locations of case studies in the Mendoza metropolitan area.

Contexto de inserción, Forma, Organización interna, Superficie y Materialidad que se presentan en la Figura 3.

El caso 1 y 3 representan al 62,5% de las plazas en Mendoza dado que la forma cuadrada acompaña la retícula espacial urbana. Sus dimensiones de aproximadamente 12.000 m² corresponden a una cuadra (de su trama

urbana). En cuanto a su distribución interna consta de un núcleo central fuertemente materializado, delimitado el verde mediante un sistema radial, generando simetría de diseño en su orientación N-E, S-O y N-O, S-E. El caso 2 la plaza Manuel Belgrano se considera un caso atípico, presentando forma triangular y dimensiones menores en el orden de 7350,51 m², su configuración se desarrolla en

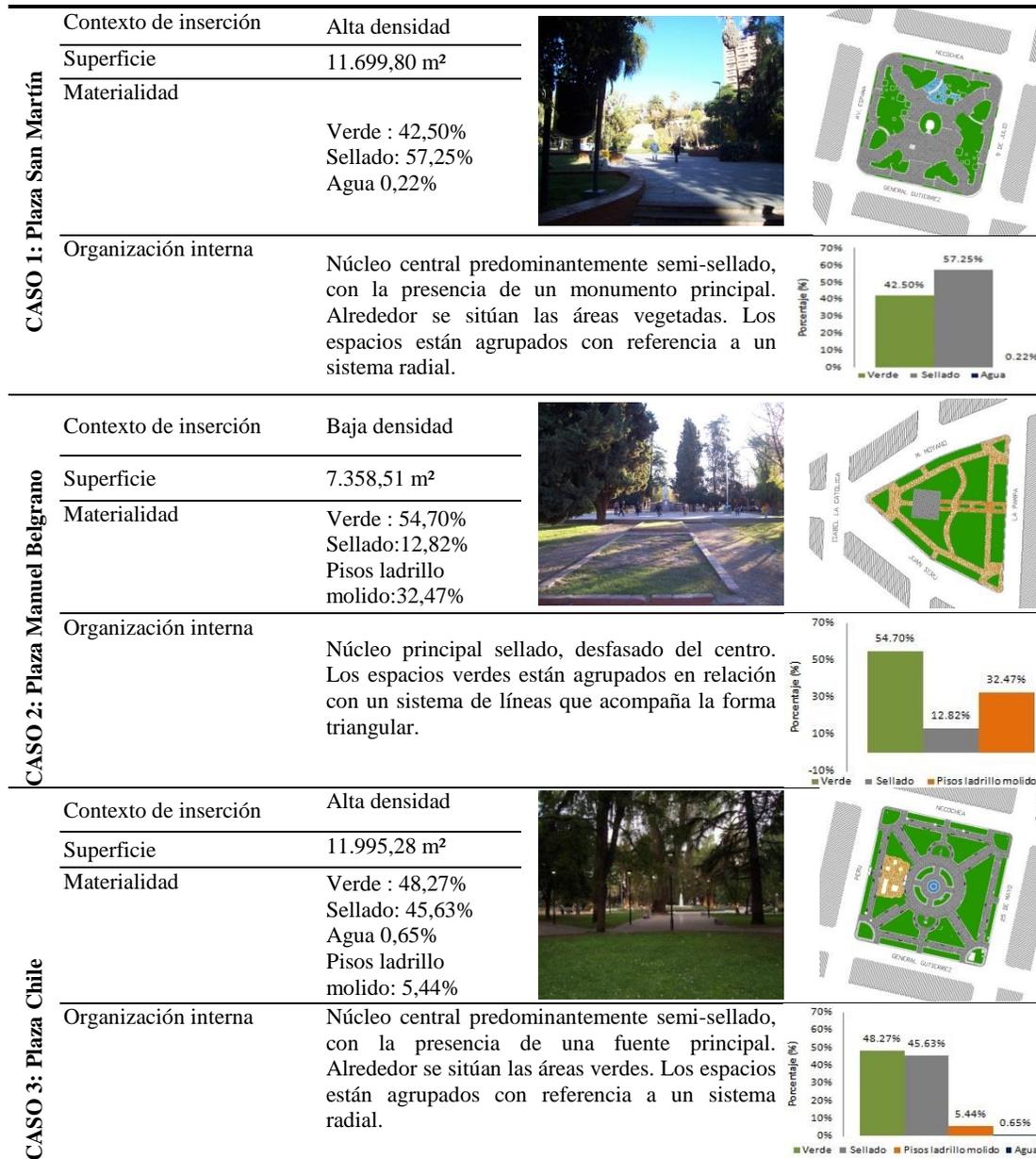


Figura 3: Caracterización formal y material de los casos de estudio.
Figure 3: Formal and material characterization of the case studies.



Figura 4: Caracterización de puntos de medición.
Figure 4: Characterization of the points of measurement.

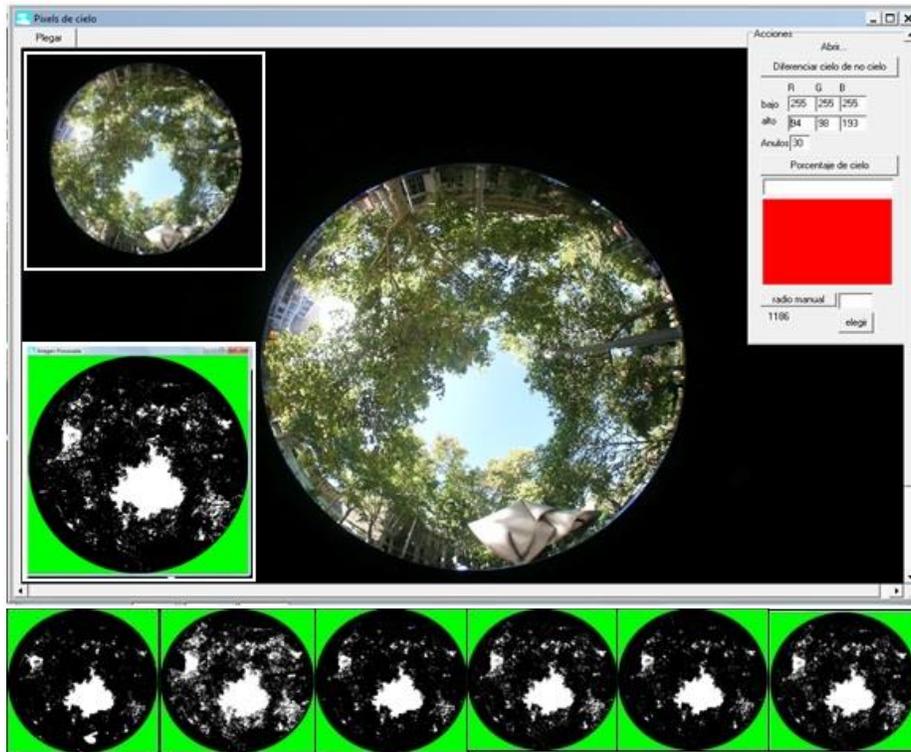


Figura 5: Proceso de determinación SVF, programa Pixel de cielo para el punto 1 Plaza San Martín.
Figure 5: Process of SVF determination, Pixel program for the sky at point 1, San Martín Plaza.

torno al núcleo principal sellado, desfasado del centro, y su eje de simetría en sentido E - O. En cuanto a la materialidad, en el caso 1 predominan las superficies selladas con una proporción verde/sellado de 0,75:1, en el caso 2 predominan las superficies verdes, con una relación verde/sellado de 7,25:1 y en el caso 3 se encuentran aproximadamente equilibradas ambas superficies, presentando una relación verde/sellado de 1,05:1. Todas las plazas contienen en su estructura tres esquemas definidos: bosque, prado y centro en distintas proporciones. Se define al bosque como un área donde la vegetación predominante la constituyen los árboles de gran porte, cuyo solapamiento de copas genera áreas de sombra y huecos de tamaños variables. Al prado se lo define como un área donde predominan las superficies de césped y vegetación herbácea perenne de escasa altura. La estructura de centro corresponde a un área donde predominan las superficies selladas, conformando un lugar de encuentro (Figura 4).

2.2 Factor de visión de cielo (SVF)

El factor de visión de cielo –SVF– es un parámetro climatológico usado para caracterizar las condiciones radiativas para un punto de observación, expresando la relación entre el área visible de cielo y la porción de bóveda celeste cubierta por los distintos componentes del medio.

Para la determinación del SVF se utilizó el programa PIXEL DE CIELO desarrollado en DELPHI 5.0 (opera en entorno Windows). Esta herramienta permite obtener el valor del factor de visión de cielo para un determinado punto a partir de imágenes digitales hemisféricas en formato JPG. Las mismas son tomadas con una cámara digital Nikon CoolPix equipada con una lente de ojo de pez.

Para la toma de imágenes se montó la cámara sobre un trípode, en cada uno de los puntos de análisis (bosque, prado y centro, tanto en su orientación norte como en la sur)

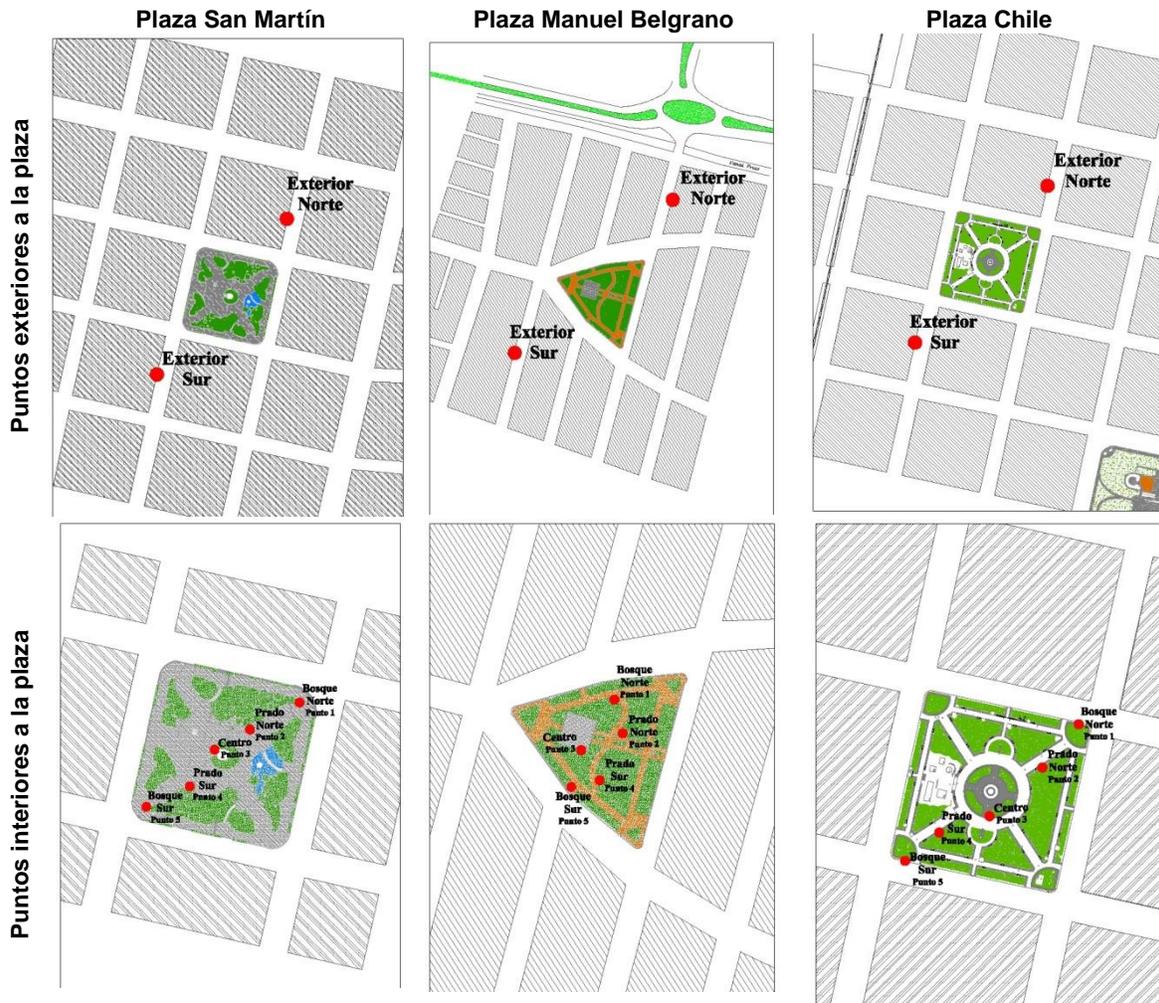


Figura 6: Localización de sensores de medición.
Figure 6: Locations of measurement sensors.

verificando que el lente esté apuntando hacia el cenit, permitiendo orientar la foto hacia el norte.

Los valores obtenidos son resultado de 6 pruebas realizadas por imagen, ajustando los rangos de delineación de colores presentes en el cielo, variando el valor del SVF (denominando bajo al color más oscuro del rango y alto al más claro) hasta llegar a la imagen que refleja con mayor precisión las condiciones reales de la imagen original (Correa, 2006) (Figura 5).

2.3 Método de medición - comportamiento térmico

Con el objeto de monitorear el comportamiento térmico de las distintas estructuras verdes de las plazas se desarrollaron mediciones de temperatura del aire, en la estación verano, durante un periodo de 40 días. Los datos se registraron cada 15 minutos bajo la siguiente configuración: cinco datalogger del tipo: H08-003-02 por espacio abierto y 2 datalogger de referencia en el espacio público de la calle en un eje

direccionado en el sentido norte-sur. Los mismos fueron calibrados anteriormente, exponiéndolos durante 7 días a condiciones similares de medición, elaborando una curva promedio, gráficos de dispersión y sus respectivas funciones de calibración.

Los sensores localizados en el interior de la plaza se corresponden con las distintas estructuras presentes en el espacio abierto: bosque, prado y centro sellado. El instrumental de medición fue colocado en el interior de una caja de material plástico, perforada en cuatro de sus caras (Cantón et al., 2007) y a una altura de dos metros (Oke, 2004). A modo de ejemplo se presenta la disposición espacial de los sensores ubicados en los tres casos de estudio, y sus alrededores (Figura 6).

3. Resultados

3.1 Factor de visión de cielo (SVF)

Los valores obtenidos de factor de visión de cielo (SVF) son el resultado del procesamiento de fotos hemisféricas tomadas en cada una de las estructuras. Los porcentajes obtenidos han sido evaluados en forma conjunta al comportamiento térmico de cada estructura a los efectos de asociar dichos comportamientos a la visión de cielo y la distribución de las sombras en relación con el recorrido del sol.

Desde el punto de vista del SVF la plaza Chile y San Martín presentan en su estructura de bosque valores similares entre 26% y 33%, la plaza Manuel Belgrano presenta valores menores en el orden de 24%. Las estructuras de prado muestran condiciones similares para la plaza Manuel Belgrano y Chile con valores entre 40% y 47% al igual que para la los centros donde sus valores son 60% (Manuel Belgrano) y 55% (Chile). El caso de la plaza San Martín, donde sus estructuras son de tipo más abiertas, sus prados presentan un valor máximo de 72%, 3 veces más abierta que los casos 2 y 3, en el caso del centro presenta un 82% siendo la estructura de mayor porcentaje de factor de visión de cielo.

3.2 Comportamiento térmico

De la observación del uso de las plazas en la ciudad de Mendoza podríamos decir que las plazas insertas en el espacio urbano

cumplen funciones diferentes durante el día y la noche.

Durante el periodo de enfriamiento, después de la puesta de sol, y de acuerdo con características, ofrecen beneficios tanto ambientales como sociales. Desde el punto de vista ambiental funcionan como mitigadores del fenómeno de la isla de calor al generar núcleos de enfriamiento dentro de la ciudad, y desde el punto de vista social ofrecen un ámbito de esparcimiento debido a sus temperaturas más benévolas y su condición paisajística. Durante el día, en condición de asoleamiento, funcionan más frecuentemente como espacios de transición y circulación urbana.

Es por ello que en este estudio los datos obtenidos mediante monitoreo se han analizado para un día representativo de verano en relación con dos periodos: el período de enfriamiento, comprendido entre las 20 y las 8 horas y el período de calentamiento comprendido entre las 10 y las 18 horas, se excluyen de este análisis los datos obtenidos para las 10 y las 18 horas, dado que se trata de horas de transición entre ambos períodos y muestran un comportamiento heterogéneo. Los comportamientos térmicos obtenidos han sido analizados relacionando los resultados obtenidos de la cuantificación del factor de visión de cielo y de la distribución de la vegetación en relación con el recorrido solar para cada uno de los espacios evaluados.

En la Figura 8 se muestra la evolución horaria de la curva de la temperatura del aire para las plazas evaluadas (casos de estudio) y las estructuras analizadas en cada una de ellas, para el periodo de enfriamiento y de calentamiento.

3.2.1 Período de enfriamiento

Caso 1 Plaza San Martín

Se observa una tendencia de enfriamiento progresivo que responde a un mismo patrón de comportamiento en las distintas horas medidas para todos los puntos. Cada uno de ellos se enfría aproximadamente 2,0 °C, cada dos horas, entre las 20 y 2 de la madrugada. Esta magnitud de enfriamiento disminuye oscilando entre 1,0 °C y 0,5 °C cada dos horas

para el periodo de 2 a 6 horas. Esta tendencia de enfriamiento progresivo que muestra un enfriamiento mayor en las primeras horas y disminuye hacia las últimas horas, se debe a que la diferencia entre la temperatura superficial y las fuentes de enfriamiento (aire y cielo) son mayores al principio del periodo incrementando las velocidades de transferencia convectiva y radiativa (Figura 8).

Las estructuras localizadas al sur de la plaza alcanzan temperaturas más elevadas respecto de las localizadas al norte debido a su condición de exposición solar que está vinculada no sólo al valor de SVF sino también a la distribución de la vegetación en relación al recorrido solar en la bóveda celeste (Figura 7).

En términos de enfriamiento la estructura de bosque localizada al sur (punto 5) enfría 8,0°C y el bosque norte (punto 1) 7,0°C. Esta leve diferencia se asocia a la diferencia de visión de bóveda de ambos puntos (punto 5 bosque sur SVF= 33% vs punto 1 bosque norte SVF= 21%). En el caso de los prados, la estructura localizada al sur enfría 7,0°C y el prado norte 8,0°C. En este caso la diferencia no se asocia a los valores de SVF -similares para ambos puntos- sino a su condición de mayor exposición solar durante el periodo de calentamiento debido a la distribución de la vegetación en relación con la trayectoria solar (Figura 7).

Respecto de sus alrededores el punto más fresco dentro de la plaza (punto 3: centro) presenta diferencias máximas de 2,0°C para cada hora evaluada, permaneciendo esta estructura siempre más fresca que su entorno. Para el caso de la estructura que se halla a mayor temperatura dentro de la plaza (bosque sur, punto 5) en relación con las temperaturas exteriores no se observan diferencias significativas, encontrándose esta configuración equiparada térmicamente con su entorno (Tabla 1).

Caso 2 Plaza Manuel Belgrano

Para las horas de enfriamiento comprendidas entre las 20 y 00 horas cada punto se enfría aproximadamente 1,5°C cada dos horas. Este enfriamiento aumenta a 2,0°C entre las 00 y las 2 horas y disminuye nuevamente a 1,5°C entre las 2 y las 4 horas, para el intervalo

siguiente (de 4 a 6 horas) esta diferencia desciende nuevamente a 1,0°C. (Figura 8).

Se observa que el centro de la plaza - punto 3-, SVF= 60%, y el prado sur -punto 4-, SVF=42%, son las estructuras que más enfrían y presentan una variación de temperatura similar ($\Delta T= 7,5^{\circ}\text{C}$). Esto se debe nuevamente al balance entre el efecto de la exposición a la fuente de enfriamiento y la acumulación de calor en los materiales. Por ejemplo el centro (punto 3) presenta una mayor exposición y se compone de una materialidad sellada con mayor capacidad de acumulación de calor mientras que el prado sur (punto 4) presenta menor exposición a la fuente de enfriamiento y menor acumulación de calor dado su carácter fuertemente vegetado (Figura 7).

El punto 5, que corresponde a una estructura de bosque ubicado al sur de la plaza, SVF= 25% es la estructura que menos enfría con un gradiente de temperatura de 6,0°C, como consecuencia directa de su menor acceso a la fuente de enfriamiento radiante.

Si analizamos la estructura de prado localizada al sur (punto 4) enfría 7,5°C en comparación con el prado norte (punto 2) que enfría 6,5°C. En este caso la diferencia no se asocia al grado de exposición a la fuente de enfriamiento radiante dado que los valores de SVF son similares para ambos puntos, 47% vs 42%, sino a su condición de mayor exposición solar durante el periodo de calentamiento que depende de la relación entre la ubicación de la vegetación y su intercepción a la trayectoria solar, esto puede verse claramente si se comparan los escenarios del punto 2 y el punto 4 para la plaza Manuel Belgrano en la Figura 7.

El punto más frío dentro de la plaza (prado norte) presenta diferencias que oscilan entre 5,0°C a 3,0°C respecto de sus alrededores. El punto interior a la plaza que se encuentra a mayor temperatura durante el periodo considerado (prado sur) presenta diferencias de 2,7°C a 1,7°C con respecto al entorno. Es decir que para este caso evaluado, cualquier estructura dentro de la plaza siempre se encuentra más fresca que su entorno (Tabla 1).

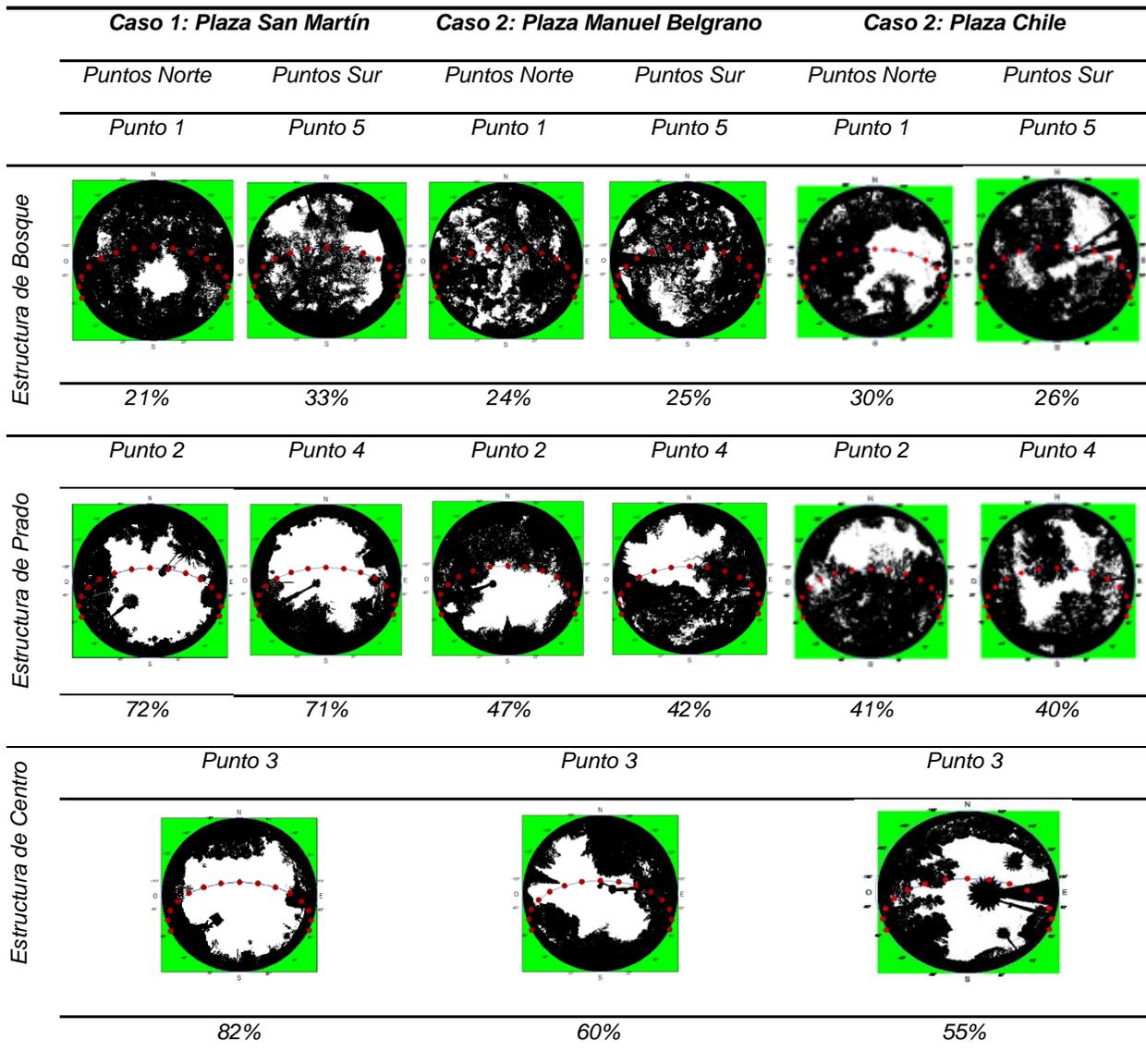


Figura 7: Factor de visión de cielo (SVF) y su relación con el recorrido solar para las diferentes estructuras evaluadas.
 Figure 7: Sky View Factor (SVF) and its relation to sun path for the different evaluated structures.

Caso 3 Plaza Chile

Durante el enfriamiento se observa la misma tendencia de comportamiento que para el caso 1 (Plaza San Martín). Es decir un enfriamiento progresivo en el cual cada punto evaluado se enfría aproximadamente 2,0°C cada dos horas para el periodo comprendido entre las 20 y 2 horas. Este efecto disminuye progresivamente enfriando cada punto entre 1,5°C y 1,0°C cada dos horas, para el período

comprendido entre las 2 y las 6 horas. Las razones que justifican este comportamiento son las mismas que se explicaron anteriormente para el caso 1 (Plaza San Martín); es decir se deben a que la diferencia entre la temperatura superficial y las fuentes de enfriamiento (aire y cielo) son mayores al principio del periodo de enfriamiento incrementando las velocidades de transferencia convectiva y radiativa.

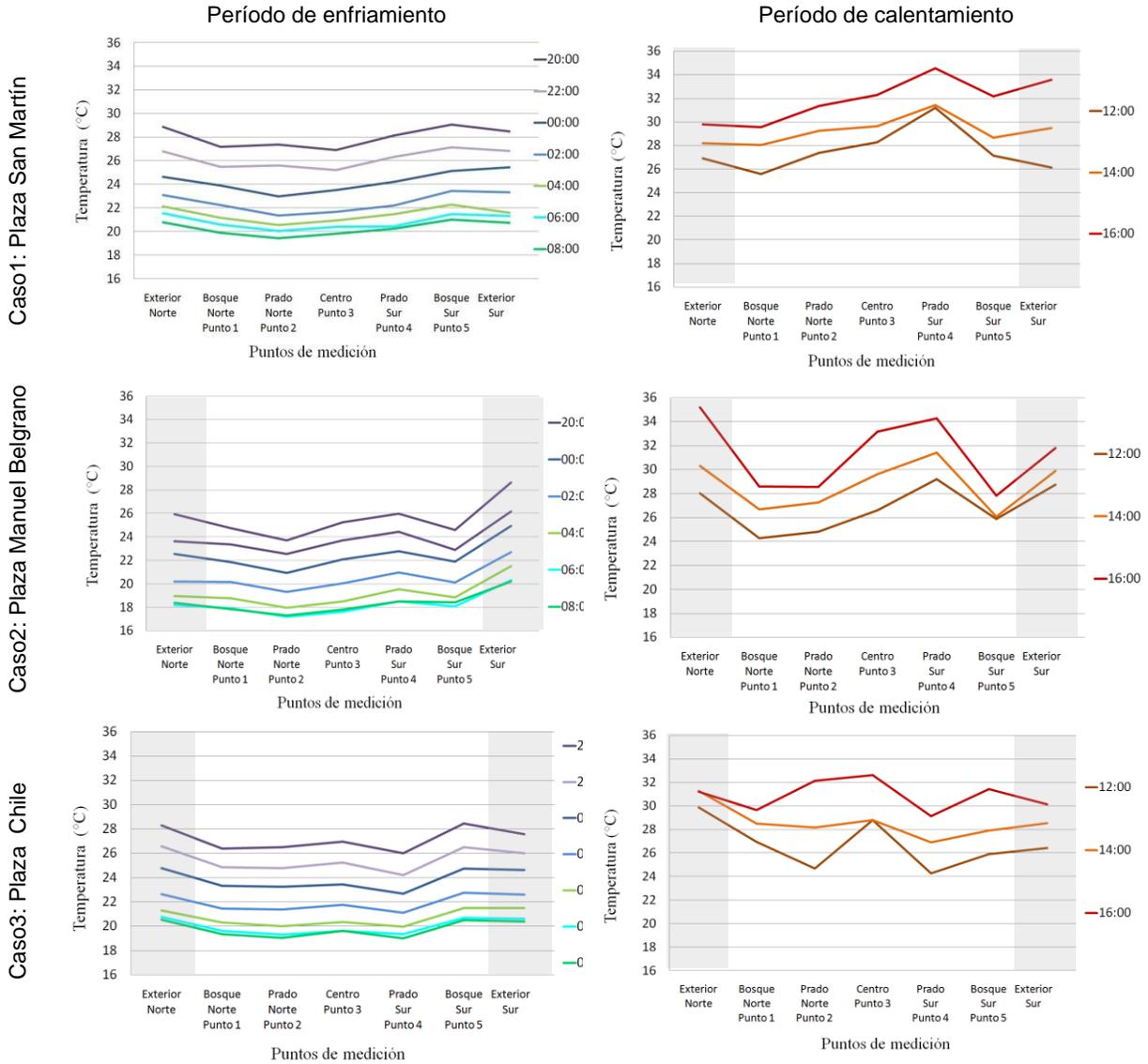


Figura 8: Curvas de temperatura del aire de un día representativo de verano de los casos de estudio.
Figure 8: Air temperature curves on a representative summer day for the case studies.

La estructura que más enfría es el bosque localizado al sur (punto 5), SVF= 26%, presentando una variación de temperatura de 8,0°C. Esto puede atribuirse a la baja acumulación de calor durante el periodo de calentamiento dada su estructura predominantemente verde y su baja exposición solar, que puede corroborarse en el esquema que muestra la imagen hemisférica, donde aparece la disposición de la vegetación en relación al recorrido solar, con un SVF= 26% (Figura 7), esta menor acumulación de calor sumada a un acceso a la fuente de enfriamiento que aunque menor que el de las

otras estructuras presenta diferencias no tan significativas (oscilan entre el 4 y el 29%), parecería justificar su comportamiento.

La estructura que menos enfría es el prado sur, correspondiente al punto 4 (SVF= 40%), con un enfriamiento de 7,0°C. Esta estructura presenta sólo un 14% más de acceso a la fuente de enfriamiento radiativo comparada con la estructura que más enfría dentro de la plaza bosque sur (punto 5) pero una ganancia de calor significativamente mayor durante el periodo de calentamiento, lo cual puede apreciarse si se comparan la

distribución de la vegetación en relación al recorrido solar para ambas estructuras (Figura 7, punto 5 vs punto 4 plaza Chile), esto justifica su menor proporción de enfriamiento.

Los prados presentan igual SVF y condiciones de enfriamiento similares (prado norte $\Delta T_{enf} = 7,5^{\circ}\text{C}$, prado sur $\Delta T_{enf} = 7,0^{\circ}\text{C}$, Se observa que poseen materialidad, visión de bóveda y relación recorrido solar-distribución de la vegetación con resultados similares, esto determina la semejanza de sus intercambios radiativos tanto durante el día como durante la noche.

El centro -punto 3- (SVF= 55% y $\Delta T_{enf} = 7,4^{\circ}\text{C}$) presenta una magnitud de enfriamiento semejante a la de los prados compensando su 15% más de acceso a la fuente de enfriamiento con una mayor cantidad de calor acumulado debido a las características de su materialidad.

La estructura dentro de la plaza que se encuentra más fresca durante el periodo analizado (prado sur, punto 4) presenta diferencias del orden de $2,3^{\circ}\text{C}$ a $1,5^{\circ}\text{C}$ respecto de sus alrededores, permaneciendo esta configuración de la plaza siempre más fresca. La estructura que permanece más caliente dentro la plaza (bosque sur, punto 5) no presenta diferencias respecto de los alrededores, es decir que en todo el período esta configuración de la plaza se halla a igual temperatura que sus alrededores en la ciudad (Tabla 1).

3.2.2 Período de calentamiento

En general, se observa que la curva que representa la temperatura del aire de las diferentes configuraciones espaciales evaluadas en cada una de las plazas, presenta un pico máximo que decrece hacia los bordes de la plaza con un comportamiento funcional variable que responde a las características particulares de los espacios analizados y los entornos en los que se insertan. La condición térmica más demandante en las plazas se observa alrededor de las 16 horas.

Caso 1 Plaza San Martín

En el caso de la plaza San Martín el

entorno Sur generalmente se encuentra a mayor temperatura que el Norte y por lo tanto, el máximo de temperatura de la plaza se desplaza hacia esa orientación. Se observa para cada uno de los puntos en las distintas horas medidas, una tendencia de calentamiento progresivo, que a diferencia del caso de enfriamiento, no responde a un patrón de comportamiento homogéneo. En la mayoría de los casos se observa un grado de calentamiento mayor entre las 14 y las 16 horas que alcanza diferencias de $3,2^{\circ}\text{C}$ para la configuración más caliente (punto 4 prado sur) y de $1,6^{\circ}\text{C}$ para la configuración más fresca (bosque norte, punto 1).

Las temperaturas máximas se concentran en la estructura de prado localizado hacia el Sur (punto 4); con valores comprendidos entre los $31,2^{\circ}\text{C}$ y $34,6^{\circ}\text{C}$. Las mayores temperaturas están asociadas a la combinación entre la materialidad de ámbito y la exposición solar (prado sur, punto 4: SVF= 71%); esta estructura al no presentar masa de acumulación, su curva de temperatura del aire acompaña a la curva de radiación solar (Figuras 7 y 8).

La estructura correspondiente al bosque norte (punto 1) es la que tiene las menores temperaturas, que oscilan entre $25,6^{\circ}\text{C}$ y $29,6^{\circ}\text{C}$ con un SVF= 21%. Se observa que esta estructura tiene una atenuación importante de la radiación directa que define su condición térmica. (Figuras 7 y 8)

De modo particular, la estructura de centro (punto 3) muestra condiciones térmicas intermedias, cuyas temperaturas oscilan entre $28,3$ y $32,3^{\circ}\text{C}$, debido a que si bien es el punto que presenta mayor exposición solar (SVF= 82%), la inercia asociada a su materialidad atenúa las temperaturas del aire del ámbito.

Respecto al entorno de la plaza, el punto más caliente (prado sur), se encuentra siempre a mayor temperatura que sus alrededores con diferencias a las 16 horas de $4,8^{\circ}\text{C}$ respecto de su entorno más fresco y de $1,0^{\circ}\text{C}$ respecto de su entorno más caliente. Para el caso del punto más fresco, el bosque norte, siempre se encuentra más fresco que sus alrededores con diferencias a las 16 horas de $4,0^{\circ}\text{C}$ respecto a su entorno más caliente (Tabla 2).

Tabla 1: Promedios horarios de temperaturas durante el periodo de enfriamiento en los casos de estudio.
Table 1: Average hourly temperatures during the cooling period in the case studies.

Plaza	Hora	Exterior Norte	Bosque Norte Punto 1	Prado Norte Punto 2	Centro Punto 3	Prado Sur Punto 4	Bosque Sur Punto 5	Exterior Sur
San Martín	20:00	28.9	27.2	27.4	26.9	28.2	29.1	28.5
	2:00	23.1	22.3	21.4	21.7	22.2	23.5	23.3
	8:00	20.8	19.9	19.3	19.8	20.2	21.0	20.8
Manuel Belgrano	20:00	26.0	24.8	23.7	25.3	26.0	24.6	28.6
	2:00	20.2	20.2	19.3	20.0	21.0	20.1	22.7
	8:00	18.4	17.9	17.3	17.8	18.5	18.4	20.2
Chile	20:00	28.3	26.4	26.5	27.0	26.0	28.4	27.6
	2:00	22.6	21.5	21.4	21.7	21.1	22.8	22.6
	8:00	20.6	19.3	19.0	19.6	19.0	20.5	20.4

Entorno de temperaturas más elevadas Estructura más fría de la plaza Estructura más caliente de la plaza

Tabla 2: Promedios horarios de temperaturas durante el periodo de calentamiento en los casos de estudio.
Table 2: Average hourly temperatures during the heating period in the case studies.

Plaza	Hora	Exterior Norte	Bosque Norte Punto 1	Prado Norte Punto 2	Centro Punto 3	Prado Sur Punto 4	Bosque Sur Punto 5	Exterior Sur
San Martín	12:00	26.9	25.6	27.4	28.3	31.2	27.2	26.1
	14:00	28.2	28.0	29.2	29.6	31.4	28.7	29.5
	16:00	29.8	29.6	31.4	32.3	34.6	32.2	33.6
Manuel Belgrano	12:00	28.0	24.3	24.8	26.6	29.2	25.9	28.7
	14:00	30.3	26.7	27.2	29.6	31.4	26.1	29.9
	16:00	35.2	28.6	28.5	33.2	34.3	27.8	31.8
Chile	12:00	29.9	27.0	24.7	28.8	24.3	25.9	26.4
	14:00	31.3	28.5	28.2	28.8	26.9	27.9	28.6
	16:00	31.2	29.6	32.1	32.6	29.1	31.4	30.1

Entorno de temperaturas más elevadas Estructura más fría de la plaza Estructura más caliente de la plaza

Caso 2 Plaza Manuel Belgrano

La plaza Manuel Belgrano, en la cual la temperatura de sus entornos Norte y Sur se encuentran equilibradas en el periodo comprendido entre las 12 y las 14 horas, se observa que la curva que representa su comportamiento térmico es semejante en los bordes y crece hacia el interior de la misma alcanzando sus mayores temperaturas en la configuración de prado localizado hacia el sur (punto 4) entre las 12 y 16 horas; con valores comprendidos entre 29,0 y 34,0°C (Figura 8). Esto se debe al efecto de la materialidad, que

al ser predominantemente verde posee menor admitancia térmica y a la distribución de la vegetación en relación al recorrido solar que determina la mayor exposición del ámbito en las horas de mayor intensidad de la radiación (Figura 7).

La estructura más fresca corresponde a la configuración de bosque alternando las menores temperaturas entre la orientación norte (punto 1) y sur (punto 5), dicha alternancia responde al efecto de la distribución de la vegetación y su relación con el recorrido solar aún en condiciones de visión

de cielo semejantes (SVF, 24 y 25%). Las temperaturas para esta configuración oscilan entre 24,3 y 27,8°C.

Al igual que en el caso de la plaza San Martín, la estructura de centro (punto 3) muestra condiciones térmicas intermedias, pero con un rango mayor de oscilación de las temperaturas (26,5 a 33,2°C entre las 12 y las 16 horas), esto se debe a que el centro de la plaza Manuel Belgrano presenta un porcentaje menor de superficie sellada.

Respecto de su entorno, el punto más caliente de la plaza (prado sur) presenta una diferencia máxima de 1,0°C respecto de su entorno más caliente siendo entre las 12 y 14 horas la plaza levemente más caliente que su entorno, a partir de las 16 horas esta estructura de la plaza se encuentra 1,0°C más fresca. El punto más fresco (bosque) alcanza diferencias respecto de su entorno más caliente de 7,0°C a 4,0°C entre las 12 y las 16 horas estando siempre este punto de la plaza más fresco que los alrededores (Tabla 2).

Caso 3 Plaza Chile

La curva que representa el comportamiento térmico de la plaza es de tendencia sinusoidal, alcanza las máximas temperaturas en la estructura de centro (punto 3) con valores comprendidos entre 28,8°C y 32,6°C, temperaturas intermedias en la estructura de bosque (punto 1 y punto 5) y temperaturas mínimas en los prados (punto 2 y punto 4) para las 12 y las 14 horas. Este comportamiento varía a las 16, en donde las temperaturas máximas se registran en las estructuras de centro y prado norte (punto 3 y punto 2). A diferencia de los casos anteriores, donde la estructura de prado muestra temperatura más elevadas que los bosques, en esta plaza las estructuras de prado evaluadas se caracterizan por poseer mayor influencia de la vegetación de borde, dada la altura de la misma, lo que genera que la estructura de esta configuración se asemeje en gran medida a las estructuras de bosque. Como consecuencia de esto y de la relación entre la distribución de la vegetación y el recorrido solar los prados se encuentran a menor temperatura (Figuras 7 y 8).

Las máximas temperaturas alcanzadas en la estructura de centro (punto 3) son el resultado de una distribución de borde de la vegetación que potencia la exposición plena del espacio en las horas de máxima radiación solar (Figuras 7 y 8).

El punto más caliente de la plaza (centro) se encuentra hasta 2,5°C más fresco que su entorno más caliente entre a las 12 y a las 14 horas, a las 16 esta situación se invierte y el centro de la plaza se encuentra 1,4°C más caliente que su entorno. El punto más fresco (prado sur) alcanza diferencias máximas de 5,6°C por debajo de la temperatura de sus alrededores, estando siempre esta configuración de la plaza más fresca.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran la importancia de las plazas como espacio regulador de las condiciones térmicas del entorno construido mediato. Sin embargo, su eficiencia como atenuador de las condiciones climáticas de la ciudad está relacionada con las diferentes estructuras que conforman el ámbito de la plaza; dependiendo de su diseño, su materialidad, su visión de bóveda celeste y su grado de exposición solar (resultante de la combinación entre la estructura vegetal y la geometría solar).

En el período de enfriamiento se observa que el efecto de enfriamiento de la plaza dentro del entorno urbano es proporcional a la relación verde- sellado que presenta. De los resultados se desprende que el punto más fresco de la Plaza Manuel Belgrano donde la relación verde / sellado es de 7,25:1, se encuentra hasta 5,0°C por debajo de la temperatura de su entorno más caliente, en la plaza Chile donde la relación verde / sellado es de 1,05:1 se encuentra 2,3°C por debajo de su entorno más caliente y finalmente en la plaza San Martín donde la relación verde / sellado es de 0,75:1 se encuentra 2,0°C por debajo de su entorno más caliente.

Si tenemos en cuenta la variable factor de visión de cielo, los resultados apoyan lo concluido previamente. Se observa que la Plaza Manuel Belgrano con SVF promedio de 39% y mayor proporción de áreas verdes, presenta una diferencia de temperatura con su

entorno que duplica a la que presenta la plaza Chile con un SVF promedio semejante (38%).

Analizando el comportamiento de cada una de las estructuras presentes en las plazas (centro, bosque y prado) respecto del enfriamiento en relación con su entorno más caliente, se observa lo siguiente: En la Plaza Manuel Belgrano las diferentes estructuras están siempre más frescas que su entorno, presentando la estructura más desfavorable (prado sur) diferencias del orden de 2,7°C; mientras que en la plaza San Martín y Chile, algunas estructuras presentan condiciones similares al entorno. Estos resultados ponen de manifiesto, nuevamente, la relevancia de la condición verde en relación al resto de los parámetros analizados. Y se evidencia la necesidad, respecto a los espacios verdes de determinar cómo debe ser la proporción de estructura de bosque y prado para potenciar los beneficios de la plaza en términos de enfriamiento.

En futuras etapas se evaluará un número mayor de casos que combinen diferentes rangos de relación verde/sellado y factor de visión de cielo para determinar donde se localiza la combinación óptima que genere la mayor eficiencia térmica del espacio en relación con su potencial de enfriamiento.

En el período de calentamiento las mayores temperaturas en la plaza resultan del efecto combinado de la exposición solar del ámbito y su materialidad. Siendo la variable de mayor impacto la exposición solar. A igual materialidad (verde), la estructura de prado presenta siempre temperaturas más elevadas que la estructura de bosque, esto se debe a la mayor exposición solar inherente a la condición de prado y a la distribución de la vegetación en el espacio respecto al recorrido solar. Esta situación se verifica plenamente para el caso de la plaza San Martín; y parcialmente para los casos restantes debido a que no siempre se cumple la condición de máxima exposición para el prado y mínima exposición para el bosque (Figura 6). En futuras etapas se evaluarán diferentes factores de exposición solar resultantes de distintos esquemas de distribución de la vegetación, a los efectos de determinar intervalos donde se localiza la mayor eficiencia térmica del espacio para el período de calentamiento.

A escala macro la plaza más eficiente es aquella que potencia el enfriamiento nocturno con el objeto de mitigar el efecto de isla de calor. En el marco de los casos estudiados la plaza Manuel Belgrano es la que permite alcanzar esta condición de manera más eficiente.

A escala micro, en la condición de verano, considerando la aptitud del espacio para su habitabilidad durante el día (período de calentamiento), siempre las plazas evaluadas se encuentran fuera del rango de temperaturas de confort; esto indicaría que ninguna de las estructuras analizadas garantiza condición de confort térmico durante este período. Sin embargo es el bosque la estructura que presenta menores temperaturas como resultado de su condición de sombra, por lo que desde el punto de vista del uso social, podría sugerirse a esta estructura como la más viable.

En términos de diseño y considerando los comportamientos analizados previamente, se deriva que una plaza eficiente térmicamente tiene que considerar: Sombrear las áreas selladas, usar la vegetación como elemento de control solar, distribuir adecuadamente los esquemas de bosque y prado a modo de controlar las temperaturas máximas durante el día y permitir el refrescamiento nocturno.

Respecto de la situación actual de las plazas de Mendoza el esquema tradicional presenta en su mayoría una distribución simétrica de los espacios, con grandes áreas selladas sin sombra y donde las áreas selladas y las áreas vegetadas están distribuidas sin cuidar su relación con la exposición solar, esto produce una atenuación de los beneficios del espacio desde el punto de vista térmico. Tanto en lo que refiere a la habitabilidad del mismo como sus beneficios sobre el enfriamiento de la ciudad.

Estas conclusiones ponen de manifiesto la necesidad de reflexionar y revisar las estructuras de plazas existentes, en cuanto a sus esquemas de diseño, dado que el esquema tradicional que plantea una distribución de espacios en forma simétrica, parece no ser el que combina en forma más eficiente las distintas variables involucradas en el comportamiento térmico de la plaza:

materialidad, distribución de la vegetación y exposición solar.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CONICET (Consejo Nacional de investigación Científica y Tecnológica) y a ANPCYT (Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica) la financiación recibida para el desarrollo de esta investigación.

Referencias Bibliográficas

Akbari, H., Davis, S., Dorsano, S., Huang, J. & Winnett, S. (1992). *Cooling our Communities: a Guidebook On Tree Planting and Light-Colored Surfacin*. Washington, D.C.: United States Environmental Protection Agency (USEPA).

Bórmida, E. (1984). *Mendoza, una ciudad oasis* Universidad de Mendoza.

Cantón, M. A., De Rosa, C. & Kasperidus, H. (2003). *Sustentabilidad del bosque urbano en el área metropolitana de la ciudad de Mendoza. Análisis y diagnóstico de la condición de las arboledas*. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 7, 1, 01.29-01.34.

Cantón M. A. & Fernández, J. (2007). *Comportamiento térmico de verano de diferentes configuraciones de sombra en patios urbanos emplazados en climas áridos. Validación del método y Estudio de casos*. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 11, 01.89 -01.95.

Correa, E. N. (2006). *Isla de Calor Urbana. El Caso del Área Metropolitana de Mendoza*. Tesis Doctoral.

Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Exactas. Argentina.

Heisler, G. M. (1986). *Energy savings with trees*. *Journal of Arboriculture*. 12(5):113-125.

Martínez, C. F., Cantón, M. A. & Roig, F. A. (2009). *Impacto de la condición de aridez en el desarrollo ambientalmente sustentable de la ciudad oasis. El caso del arbolado urbano en el Área Metropolitana de Mendoza*. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 13, 01.113 - 01.120.

Oke, T.R. (2004). *Initial Guidance To Obtain Representative Meteorological Observations. At Urban Sites*. Iom Report, Td In Press, World Meteorological Organization, Geneva.

Provincia de Mendoza y la Comunidad Europea. (2006) *Informe Gestión de la Urbanización en Ciudades Turísticas*. Mendoza, Argentina.

Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K. & Williams, J. (2000). *Manejo de las áreas verdes urbanas*. Documento de buenas prácticas. Washington, D.C, No. ENV 109.

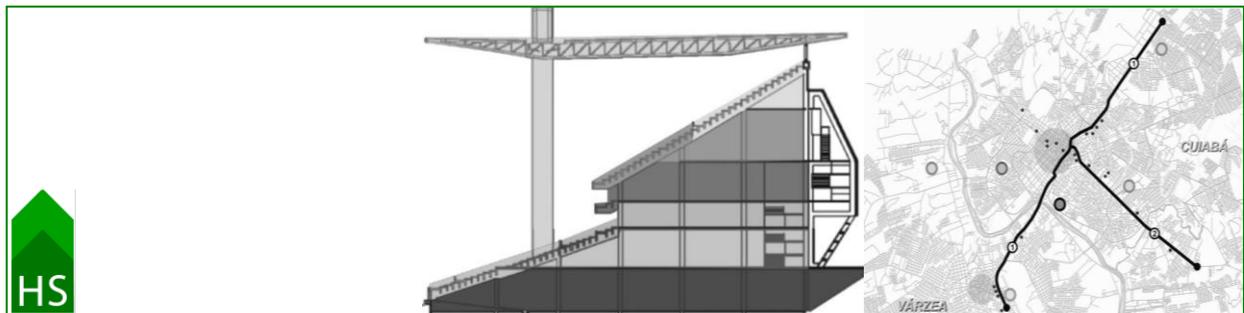
Rosenfeld, A., Akabari, H., Akabari, J.J. & Romm Pomerantz, M. (1998). *Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction*; *Energy and Buildings*. 28, pp. 51–62.

Santamouris, M. (Ed.) (2001). *Energy and Climate in the Urban Built Environment*. James & James. London, UK.

Recibido: 05|07|2013
Aceptado: 13|11|2013

Copa 2014 - diretrizes de sustentabilidade na concepção do projeto do novo verdão, a Arena Pantanal, em Cuiabá-Mt

2014 World Cup - guidelines for the sustainable project design of the new “verdão” (big green), the Arena Pantanal. Cuiaba-Mt



Rodrigo Tóffano rodrigo_toffano@yahoo.com.br

Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia - Universidade Federal do Mato Grosso – Cuiabá, Brasil

José Manoel Henriques de Jesus jmhenriques@terra.com.br

Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia - Universidade Federal do Mato Grosso - Cuiabá, Brasil



RESUMO

Palabras clave
Sustentabilidade,
Estádios de Futebol,
Cuiabá,
Arena Pantanal

O presente artigo trata das medidas de sustentabilidade adotadas na concepção do projeto da Arena Pantanal, o novo estádio da capital de Mato Grosso, uma das sub-sedes brasileiras, para a Copa do Mundo FIFA 2014TM. Para sediar este megaevento esportivo, a cidade em questão, se propôs a realizar uma série de obras e exigências impostas pela FIFATM; que promoverão mudanças no espaço urbano, mas que, principalmente, atendem aos seus interesses específicos. Dentre estes, no campo da preservação do planeta, destaca-se uma preocupação com o meio ambiente, através de medidas de redução do consumo energético, de água, de insumos, etc. Medidas estas adotadas, em Cuiabá, de forma pioneira no Estado, em prol da divulgação dos benefícios da construção civil “verde” e da obtenção da primeira certificação de sustentabilidade ambiental para um edifício público local, o selo norte-americano LEEDTM. O que se observa é que, uma construção civil deste porte não pode ser 100% sustentável, entretanto, seus impactos ambientais podem ser minimizados.

ABSTRACT

Key words
Sustainability,
Soccer Stadiums,
Cuiaba,
Arena Pantanal

This article deals with the sustainability measures adopted in the design for the Arena Pantanal, the new stadium in the capital of Mato Grosso, one of the Brazilian host-cities for the 2014 FIFA World CupTM. To host this sporting mega-event, the city in question proposed a series of works and requirements imposed by FIFATM that will promote changes in urban space, but that mainly cater to their interests. Among these, environmental conservation is taken into consideration through initiatives to reduce the consumption of energy, water, and supplies. These measures adopted in Cuiaba, a pioneer in the country, attempt to publicize the benefits of green building and obtain the first certification of environmental sustainability for a public building site through a U.S. LEEDTM label. Ultimately, it was observed that a building of this size cannot be 100% sustainable, although its environmental impacts can be minimized.

1. Introdução

Ao longo do início do século XXI observa-se a expansão de grandes eventos esportivos para países em desenvolvimento. Estes vêm se tornando um importante recurso de transformações urbanas, com significativo

impacto social, político e econômico nas cidades que os sediam (Mascarenhas, Bienenstein y Sánchez, 2011). Entretanto, nem sempre a tecnologia e a infraestrutura destes audaciosos megaprojetos são adequadas, ou consideram as condições locais e culturais da população.

Projetos de novas arenas/estádios são, em geral, exportados da Europa e dos Estados Unidos para o resto do mundo, contrapondo-se a noções de respeito e sustentabilidade econômica, ambiental e cultural do país e mesmo da cidade a sediar tais entretenimentos esportivos. Muitas vezes, os “destinos finais” são nações ainda consideradas emergentes, ou em desenvolvimento que ainda exibem situações precárias, por falta de investimentos públicos, dos serviços de infraestrutura mais essenciais. Mas, que já gastaram, ou virão a gastar bilhões com a (re) construção, reforma e modernização destes equipamentos esportivos.

Toda esta preparação requer uma cadeia produtiva altamente impactante para o meio ambiente pelo elevado consumo de insumos (Sattler y Pereira, 2006), já que o setor da construção civil é um dos grandes responsáveis pelo consumo de recursos naturais e pela geração de impactos negativos, no planeta. Assim, acompanha-se uma mudança de paradigma importante, na arquitetura, por meio da busca pela sustentabilidade e de sistemas tecnológicos inovadores em novas construções (Guedes et al., 2011).

Todavia, foi só a partir de 2006, com os preparativos para a Copa da Alemanha que a Federação Internacional de Futebol Associado (FIFA) e seus parceiros introduziram políticas ambientais, através do Programa *Green Goal™*, na organização e disseminação de Copas “mais sustentáveis” (FIFA, 2007).

No Brasil, o Mundial de 2014 vem sendo chamado de “Copa Limpa”, “Copa Verde”, pelas ações ecológicas desprendidas no setor da construção civil, uma vez que os profissionais da área têm como premissa, inserir algumas práticas de sustentabilidade em seus projetos para que estes alcancem melhores níveis de qualidade e conforto; principalmente, nos projetos das novas arenas que caminham em prol do desenvolvimento sustentável.

Contudo, o maior “apoio”, aqui, ficou a cargo do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) que só liberou empréstimos mediante a ratificação de projetos que contemplassem desde aspectos relacionados à sustentabilidade ambiental e a sustentabilidade financeira, na solução de gestão. E que, ao final da construção, apresentem algum tipo de certificação da

qualidade ambiental da obra, creditada por algum instituto internacional reconhecido nacionalmente.

O Brasil para a Copa do Mundo FIFA 2014™ terá grande parte de seus projetos certificados pela metodologia americana *Leadership in Energy and Environmental Design (LEED™)*, uma das mais difundidas e recomendada pelos manuais da própria FIFA.

Neste artigo será apresentado o Estádio Governador José Fragelli, popularmente conhecido como “Verdão” e comercialmente, pela FIFA, por “Arena Pantanal”, representante de Cuiabá-MT para a Copa de 2014. Este processo dar-se-á através da apresentação de sua concepção e projeto arquitetônico, além, da descrição dos parâmetros de sustentabilidade empregados de forma a verificar se o novo estádio de Mato Grosso é realmente um projeto sustentável, como apontam seus idealizadores, em suas premissas, ou se trata apenas de uma jogada de marketing. Para tal, foram levantados diversos trabalhos, artigos, plantas do projeto original e informações relevantes de sua concepção - através dos memoriais descritivos e de especificações - disponibilizados pelas empresas de engenharia e fiscalização responsáveis; assim como, de extensivo levantamento fotográfico e visitas *in loco*. Todo este material foi analisado, estudado e computaram-se suas principais características de sustentabilidade.

2. A Concepção e o Projeto Arquitetônico

Com a ratificação oficial de Cuiabá, em 31 de maio de 2009, como uma das sedes do Mundial de 2014, representante do bioma do Pantanal, por exigência da FIFA; um novo e moderno projeto foi solicitado, pelo Governo do Estado, para substituir o antigo “Verdão”. A Arena Pantanal, como passou a ser conhecida, de autoria de Sérgio Coelho, do escritório paulistano GCP Arquitetos, ocupará o mesmo local da velha arena, no bairro Cidade Alta, Região Oeste da capital de Mato Grosso.

O projeto desenvolvido, em 2009, e com obras iniciadas, após a demolição, em 2010, tem previsão de entrega para o início de 2014. A área total do empreendimento é de 307 mil m², com uma nova área construída de 101 mil m². O custo estimado de todo o complexo, para 43.136

expectadores, é de 518,9 milhões de reais (Tóffano, 2013).

Sua concepção foi baseada na inserção de um equipamento multiuso, modulado, racional, estruturalmente mais econômico e projetado em sete diferentes níveis (Figura 1), em um amplo conjunto arquitetônico adequado a realidade local, sem tradição futebolística. E, comprometido com a sustentabilidade, com a responsabilidade socioambiental e com a requalificação urbana da cidade. Contará, por exemplo, com parte das arquibancadas superiores, nas áreas de fundo de campo, em estrutura metálica, que poderá ser desmontada, após o Mundial, e reportada a outras arenas, com redução de sua capacidade, em 30%. Um marco de inovação tecnológica, utilizado pela primeira vez em um Mundial, ligado à sustentabilidade econômica do empreendimento (Coelho et al. 2012).

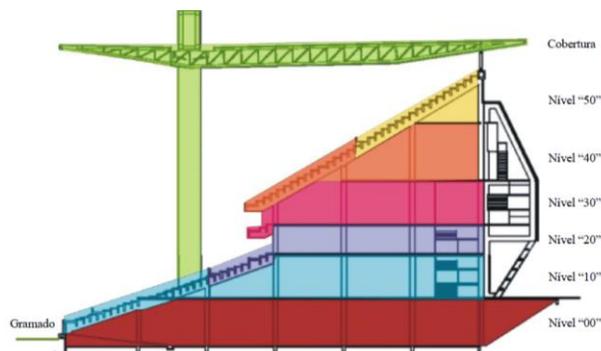


Figura 1: Corte esquemático da Arena Pantanal. Fonte: Adaptado de Coelho et al. (2012), pelos autores.
Figure 1: A cross section of Arena Pantanal. Source Own elaboration from Coelho et al., 2012.

Quando o projeto foi licitado, exigiu-se que este atendesse a elevados índices de sustentabilidade - uma novidade na construção civil pública brasileira - já que, em outros estádios para a Copa, isso foi feito depois do projeto terminado, através de adaptações. Segundo a Secretaria Extraordinária da Copa do Mundo - FIFA 2014 (SECOPA), agência fiscalizadora das obras em Mato Grosso, o BNDES seguiu o modelo licitatório da Arena Pantanal para questionar os requisitos de sustentabilidade das outras arenas; para que estas obtivessem seus respectivos empréstimos (Diniz, 2012).

Em Mato Grosso, o projeto, pioneiro em tratar da sustentabilidade aplicada a sua

concepção, espera obter o “selo” Certificado (38 pontos) do LEED™, de reconhecimento às suas preocupações com o meio ambiente. Todavia, há um esforço para que a obra seja finalizada com no mínimo, 50 pontos, o que a tornaria merecedora da certificação “Silver”, a terceira melhor desta agência. Esta pontuação poderá ser retificada enquanto as obras não forem concluídas, já que a avaliação final só é realizada ao final do processo. Se alguma das exigências previstas nos pré-requisitos, da obra, não for cumprida, todo o esforço com a sustentabilidade pode ser perdido; por isso, regularmente, suas ações são monitoradas.

A concepção arquitetônica da Arena Pantanal (Figura 2) rendeu reconhecimento e alguns prêmios internacionais e nacionais a seus autores. Principalmente, pelo compromisso firmado, previamente, com a sua sustentabilidade ambiental, econômica e social. Com foco, principalmente, no uso correto de mão-de-obra, nos aspectos relacionados ao emprego de materiais menos poluentes e na redução do consumo de energia e de água.

Este compromisso, dividido em duas etapas, atenderá aos interesses das estruturas técnicas da FIFA e das equipes de mídia, inicialmente, que ocuparão grande parte do entorno da arena. No entanto, após o Mundial, esta área será readaptada à realidade local, ou seja, o espaço subutilizado se tornará uma área pública de lazer e convivência - o que seus gestores chamam de “legado” (Coelho et al. 2012).



Figura 2: Concepção arquitetônica da Arena Pantanal, com sua respectiva setorização e o Setor Sul superior desmontado. Fonte: Adaptado de Coelho et al. (2012), pelos autores.

Figure 2: Architectural design of the Arena Pantanal, with its respective sectorization and upper South Sector dismantled. Source: Own elaboration from Coelho et al., 2012.

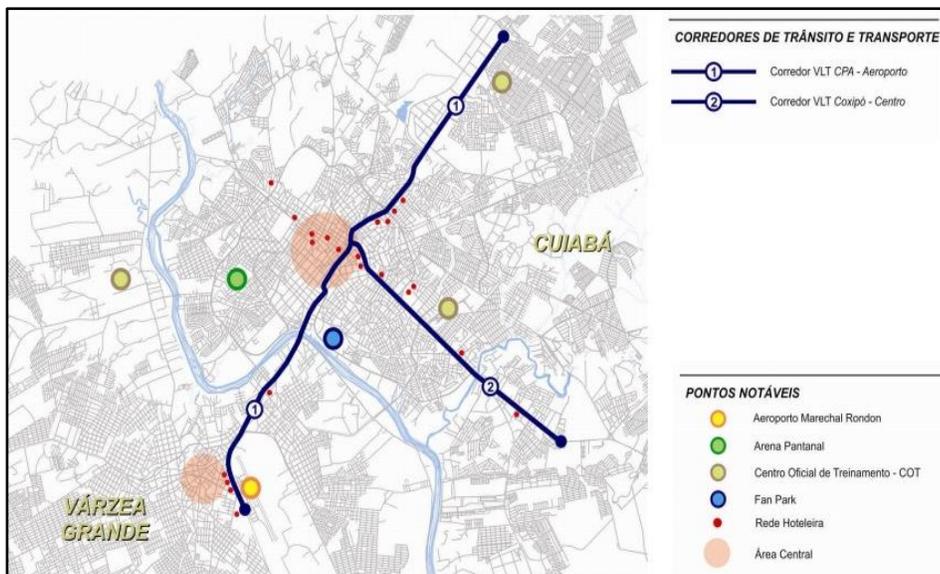


Figura 3: Rede doVLT em Cuiabá. Fonte: SECOPA, 2012.

Figure 3: Cuiaba's VLT network. Source: SECOPA, 2012.

3. Parâmetros de Avaliação da Sustentabilidade

O paradigma da sustentabilidade induziu, nos últimos anos, associado ao estímulo de financiamento bancário e às recomendações da FIFA, a incorporação de práticas ecológicas/verdes, em estruturas poliesportivas preparadas para sediar grandes eventos mundiais.

A seguir, apresentam-se algumas das soluções sustentáveis identificadas na Arena Pantanal, no intuito de minimizar o impacto do complexo ao meio ambiente. Considera-se aqui a questão econômica como vital para a viabilização de empreendimentos deste porte, bem como a integração e a conscientização das equipes mistas envolvidas e de seus aparatos tecnológicos sustentáveis; além do investimento necessário para tais ações, de forma continuada na busca por melhores resultados.

Cabe frisar que, muitas das medidas a serem apresentadas podem ter desdobramentos sobre outras áreas, através de uma rede complexa de influências que aqui foram simplificadas para facilitar a compreensão e didática. Ratifica-se também a falta de textos científicos sobre as etapas de construção Arena Pantanal, já que o projeto se encontra em andamento. Assim, muitas das referências encontradas são de sites do Governo Federal, portais especializados em arquitetura e

construção civil, gerenciadores e fiscalizadores da obra, que no momento são os que dominam tais informações.

3.1 Ambiente Urbano e Paisagístico

Uma das maiores preocupações dos idealizadores deste projeto foi com a integração da Arena com seu entorno e como esta poderia potencializar o desenvolvimento urbano; não somente através de um legado esportivo mas, de forma a incentivar a criação de um foco de atratividade de serviços, de lazer, de comércio e de entretenimento da comunidade.

Para isso, a preocupação com o ambiente urbano e paisagístico foi salientada desde as etapas de concepção de projeto, instalação do canteiro de obras, execução de serviços preliminares; e passa, pelo atual desenvolvimento e pelo gerenciamento de obras. O complexo busca promover a educação ambiental, a conscientização de seus trabalhadores e a difusão dos benefícios da construção sustentável aos visitantes e à população em geral.

A implantação do novo estádio, por exemplo, priorizou o desnível natural do terreno, de forma a evitar o consumo desnecessário de energia, gastos econômicos com a movimentação de terra e com o despendimento de poluentes para a atmosfera. Além desta, uma

série de outras medidas práticas foram, ou estão sendo adotadas para que o apelido “Verdão” não seja esquecido; e de que o nome seja eternizado nas atitudes de projeto.

Na etapa de projeto, a concepção da forma buscou valorizar ao máximo os recursos naturais: iluminação natural, ventilação cruzada, insumos naturais, riqueza da biodiversidade, etc. A criação de microclimas com vegetação nativa nas quinas de campo e as aberturas laterais do estádio, com os três biomas do Estado: cerrado, pantanal e amazônico, são exemplos desta preocupação da integração com o paisagismo e o ambiente circundantes.

3.2 Transportes

Cuiabá está recebendo um pacote de obras de mobilidade, que aspira transformá-la em um aglomerado urbano organizado, com total infraestrutura viária e de transporte coletivo para as necessidades de sua população. O plano original previa a construção de dois corredores de *Bus Rapid Transport* (BRT), entretanto, após apelo popular e político este modal fora substituído pelo Veículo Leve Sobre Trilhos (VLT) - sem aprofundado respaldo técnico.

A Arena Pantanal ficará a uma distância média de 2,5 km da estação mais próxima do VLT, na área central da cidade (Figura 3); de onde será conectada por coletivos públicos, através de um sistema de bilhetagem única.

A integração do projeto à rede de transportes públicos, associada a preocupações de distribuição de vagas para idosos, portadores de necessidades especiais e usuários que possuam veículos movidos a combustíveis mais ecológicos, tornam a Arena Pantanal ainda mais sustentável.

3.3 Água- Racionalização, Conservação e Reuso

A minimização da dependência da rede pública de abastecimento e a autonomia consciente de uma edificação é um dos índices que mais refletem sua sustentabilidade, entretanto, esta mudança de paradigma demanda custos elevados. Dentre as principais ações de sustentabilidade aplicadas na racionalização, conservação e reuso da água, no estádio da capital mato-grossense, destacam-se:

Racionalização da água. O projeto do estádio fora desenvolvido com sistemas hidráulicos que, quando entrarem em funcionamento economizarão, aproximadamente, 40% do consumo de uma edificação semelhante, decorrente, principalmente, da utilização de louças e metais com fluxo e vazão de água controlados e reduzidos.

Tratamento de efluentes. Para alcançar os 40% do índice de redução de consumo de água, citados anteriormente, a Arena Pantanal fará o reuso de parte de seus efluentes, de forma a integrar todos os seus sistemas. A intenção é que o complexo prejudique o sistema hídrico e o lençol freático o menos possível (Brasil, 2012). Para isso, se contará com uma estação de tratamento de esgotos, com alto padrão de qualidade, a ser instalada em seu perímetro (Massimino, 2009). A água utilizada para irrigação do gramado, para descargas e limpeza, por exemplo, terá como uma de suas origens os efluentes produzidos, coletados, tratados e armazenados neste estádio (Coelho et al. 2012).

Reaproveitamento da água de chuva. Este já está presente desde a etapa de construção do estádio, à medida que, boa parte da água consumida no canteiro de obras é produto de reaproveitamento (SECOPA, 2012). Com a finalização das obras, a cobertura do estádio e o gramado, também, terão esta função de captar as águas de chuva para usos menos nobres, como: a irrigação de jardins e gramados; resfriamento de equipamentos e máquinas; no reservatório contra incêndio; lavações de pisos e veículos; e em descargas. A água será captada, tratada e reutilizada ao ser disponibilizada em um reservatório de águas de reuso. Entretanto, no inverno seco e quente cuiabano, onde a precipitação média é de 12mm, a utilização da água da rede será necessária principalmente para a irrigação do gramado.

3.4 Energia - Fontes Renováveis

As fontes renováveis, no geral, causam impactos considerados mais brandos ao meio ambiente, principalmente, em uma época de luta contra a utilização de combustíveis fósseis, a poluição e o aquecimento global. No Brasil, por exemplo, mais de 70% da matriz energética tem como origem as hidroelétricas, ou seja, energia renovável. Entretanto, boa parte dos complexos esportivos mundiais é abastecida por combustíveis de origem fóssil (John et al, 2007).

Neste milênio, a busca pela utilização de energia renovável se tornou uma preocupação de projetistas de arenas, já que estas consomem, em uma partida de futebol, com público médio de 45 mil pessoas, em torno de 6 a 8 MW de energia elétrica (Diniz, 2012).

A Arena Pantanal ao receber financiamento do BNDES, ratificou um acordo com esta estatal de que produziria parte de sua energia elétrica, nas suas próprias instalações, através de uma fonte energética mais “limpa”, (Bilenky, 2010). Assim, sua cobertura ao ser finalizada deverá abrigar placas fotovoltaicas para a geração de energia solar de 1,2 megawatts/hora de energia, 20% do total demandado. Todo o excedente será utilizado pelas edificações de seu entorno, já que o estádio estará conectado a rede geral (SECOPA, 2012b).

A energia solar também será utilizada para aquecer água, através de coletores térmicos, que absorvem calor de forma a minimizar o consumo com a energia elétrica.

3.5 Energia - Demanda Minimizada

De forma geral, combater o desperdício de energia elétrica não significa abrir mão do conforto e dos benefícios provenientes desta. Sua utilização, racionalizada, faz com que o consumidor esteja preservando os recursos do seu país, ao mesmo tempo, que evitando problemas de abastecimento.

Na Arena Pantanal, se estabeleceu dispositivos economizadores, que reduzirão em até 20% o consumo energético de sua utilização, se comparada a estádios de mesmo porte. Para este cálculo, seus projetistas levaram em consideração os modelos das atividades futuras de seus usuários, nos mais diversos ambientes projetados, variando de acordo com as necessidades energéticas e luminotécnicas de cada um deles (Massimino, 2009).

Dentre os dispositivos economizadores adotados destacam-se: a utilização de lâmpadas de baixo consumo energético (LED e compactas); a iluminação restrita a pontos indispensáveis; a utilização de aparelhos eletrônicos (telões, sistemas sonoros, etc.) e sistemas de condicionamento de ar mais eficientes; e, os doze elevadores com sensores de presença e comandos elétricos para economizar durante os trajetos. Esta ratificação

de que os sistemas elétricos evitem desperdícios de consumo, além do estabelecimento de limite de potência dos projetos luminotécnicos das áreas internas e externas, reduzirão o consumo da edificação.

3.6 Materiais Ecológicos

Os materiais utilizados na construção da Arena Pantanal atendem, sempre que possível, a critérios de regionalização, preservação e de responsabilidade socioambiental. Isto significa que estes foram elencados, em projeto, considerando os sistemas construtivos predominantes no Mato Grosso, sua origem, questões culturais, preocupações ambientais, ciclo de vida, formas de descarte e a sua disponibilidade no mercado.

Boa parte destes materiais apresenta tecnologia biocompatível; ou seja, melhoram as condições de conforto de seus usuários e/ou, no mínimo, não agridem o meio ambiente em seu processo de fabricação, nem durante seu ciclo de vida. Materiais que reconhecidamente estão envolvidos com graves problemas ambientais foram evitados, quando possível, ou utilizados, na ausência de outras opções, de maneira criteriosa e de forma controlada (a exemplo de tintas, vernizes e derivados).

Destaca-se na obra a utilização de madeira e tijolos cerâmicos certificados; pisos ecológicos; materiais de rápida renovação e de fácil reciclagem; e insumos regionais (extraídos, processados e manufaturados a menos de 800 km de distância da construção). Este último, entretanto, esbarrou nas dificuldades do mercado da construção civil, do Estado, em certificar a origem e o processo sustentável de seus materiais (Tóffano, 2013).

3.7 Resíduos e Reciclagem

Uma das maiores preocupações ambientais, hoje, é a grande produção e descarte de resíduos sem qualquer tipo de tratamento e/ou reciclagem. Todavia, a gestão integrada destes é capaz de reduzir seus efeitos nocivos sobre a saúde humana e o meio ambiente.

Nos canteiros de obras de arenas esportivas, a reciclagem de materiais inertes da demolição e a incorporação destes em elementos construtivos se tornou uma das principais diretrizes aplicadas a sua (re)qualificação. Nestes

espaços, a produção acentuada de resíduos, durante a construção e na fase de operação, deve ser levada em consideração por seus projetistas, em prol de formas mais eficientes de tratamento e de disposição final.

Dentre as medidas adotadas pela Arena Pantanal destacam-se: o controle do transporte de resíduos; a identificação de quantidades, destinos e empresas; a reciclagem de insumos; a utilização de 20% de novos materiais, que apresentem em sua composição conteúdo reciclado; a correta gestão da construção, com a destinação de mais de 75% dos resíduos para reuso; a coleta seletiva de materiais de escritórios, canteiro de obras e frentes de serviço; a compensação de cortes e aterros; a utilização de recipientes com cores, para facilitar a compostagem; a instalação de baias de armazenamento identificáveis; e a averiguação das licenças das empresas transportadoras e receptoras da destinação final.

Cuidados foram adotados antes mesmo da construção do novo estádio, ainda na demolição do antigo Verdão, onde se definiu que nenhum detrito seria descartado; priorizando-se assim, a reciclagem e o reuso (SECOPA, 2012a). Menos de 5% dos materiais tiveram como destinação final o aterro sanitário da cidade. Estruturas metálicas, assentos, refletores e até o gramado foram destinados para praças esportivas do interior do Estado. Já materiais como ferro e aço foram separados e encaminhados para reciclagem (Neto, 2010). Entretanto, o maior destaque ficou a cargo dos 24 mil m³ de concreto e alvenarias, que foram reaproveitados em aterros e pavimentações.

3.8 Conforto Ambiental Passivo

O conforto ambiental em edificações é uma temática cada vez mais em voga para aqueles que estudam o ambiente construído e suas relações com o homem. Pode ser entendido como a adequação deste espaço ao uso; respeitando condições térmicas, de ventilação, de insolação, de acústica e visual. Neste sentido, todo conhecimento desenvolvido acerca do conforto ambiental pode ser definido através de elementos de controle passivo, a serem estudados neste item; e de controle ativo, que virão a ser abordados no próximo item.

O estádio mato-grossense localiza-se em

uma área onde predominam temperaturas médias anuais de 32°C, com máximas absolutas podendo chegar aos 46°C. Estas altas temperaturas requereram cuidados maiores em sua etapa de projeto, o que favoreceu, principalmente, ações de conforto ambiental passivo - que são menos onerosas e despendem menos gastos energéticos. Destacam-se: a busca pelo melhor aproveitamento da iluminação natural e da ventilação cruzada, que favorecem a eficiência energética; o emprego de materiais com baixa condutividade térmica; a concepção da forma arquitetônica mais arejada e permeável; a criação de microclimas com vegetação; a utilização de espelhos de água; e o posicionamento da edificação e do campo, protegidos da insolação mais forte – através de uma envoltória com brises metálicos associada a uma membrana vazada, em PVC, com tratamento termoacústico (Diniz, 2012).

3.9 Conforto Ambiental Ativo

O conforto ambiental ativo engloba mecanismos que apresentam certo despendimento energético, para adequarem os princípios físicos do ambiente as necessidades do ser humano, como por exemplo, com o aquecimento, ou refrigeração de ambientes.

Países localizados em zonas temperadas têm preocupações maiores com calefação e sistemas de aquecimento, na Arena Pantanal esta preocupação é mínima; no entanto, água quente será necessária nos vestiários dos jogadores e em atividades de cozinhas e restaurantes. Para tal, um sistema de coletores de aquecimento absorverá energia do sol para aquecer a água a ser utilizada na edificação. Maiores detalhes técnicos não estão disponíveis, pois esta etapa ainda se encontra em projeto.

Outro sistema importante é o de climatização e refrigeração, talvez, este seja o mais importante mecanismo de conforto ambiental ativo da Arena e o com maior consumo energético. As altas temperaturas da cidade obrigam que áreas técnicas, camarotes e áreas de imprensa sejam refrigerados e ventilados. Assim, estes foram projetados de forma a atender a normativa americana 90.1-2007 da *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering* (ASHRAE), onde para garantir a qualidade do ar interna, seus gastos devem ser o mais racional e sustentável possível.

4. Conclusões

Foram apresentados, nesta pesquisa, dez parâmetros gerais de avaliação da sustentabilidade que a Arena Pantanal busca atender. Muitos ainda estão sendo executados, no entanto, ratifica-se um compromisso de seus gestores em firma-los, até o final de sua construção, prevista para 15 de janeiro de 2014. Estes, mesmos sendo distintos dos critérios estabelecidos pela metodologia LEED™, a qual a Arena busca a certificação, potencializam o projeto no cenário mundial de complexos esportivos ambientalmente mais corretos. Seja por apresentar ações que minimizam a quantidade de insumos gastos/gerados, seja por tais medidas fazerem jus aos elevados desprendimentos econômico investidos em sua construção.

Isto se deve, principalmente, a um correto planejamento desde a sua concepção, onde os custos de implantação de medidas sustentáveis são menores e as possibilidades de intervenção são maiores. Além, da busca de seus gestores por um complexo que não se tornasse um “elefante branco”. Risco este apontado por importantes consultoras financeiras, como a *Crowe Horwarth RCS* e pelo Tribunal de Contas da União (Massimino, 2010).

Pode-se demonstrar que mesmo seu projeto tendo ainda muitas medidas a serem potencializadas, para contribuir plenamente com o desenvolvimento sustentável; sua aplicação, na realidade da construção civil brasileira, já é um avanço. Principalmente, em um Estado que carece de edificações com tais princípios e certificados internacionalmente.

Com este estádio se constatou que ações ecológicas não deveriam ser mais tratadas como uma questão de escolha (opcionais), para grandes empreendimentos, e, sim, de obrigação. O meio ambiente necessita deste tipo de esforço, ou investimento sustentável, sobretudo no setor da construção civil, que tanto contribui para a poluição do planeta.

Infelizmente, a construção sustentável ainda não é uma realidade no Brasil, uma vez que a adoção de práticas vinculadas a esta temática é dificultada por normas e empresas não preparadas. E muitas vezes, estas práticas apresentam um custo de implantação inicial

muito elevado. Em contrapartida, os benefícios decorrentes destas, não são considerados ao longo do ciclo de vida da edificação, com a redução dos custos com operação e manutenção; assim como, o da qualificação da indústria local com o desenvolvimento de novas técnicas.

Um complexo esportivo deste porte só será sustentável quando atender ao tripé formado pelo meio ambiente, economia e o sociocultural. Todavia, os dois últimos só poderão ser avaliados no Pós-Copa, dependendo de sua apropriação pela sociedade. Entretanto, estas soluções só poderão ser plenamente verificadas com a finalização do complexo, com a análise de diferentes cenários e dos resultados alcançados.

Pesquisas e investimentos em novos materiais, acabamentos e tantos outros itens, como foram, aqui, expostos, retratam uma nova forma de se pensar e de minimizar os impactos negativos das construções. A tecnologia tem capacidade para a resolução destes problemas, mas deve ser aplicada de forma crítica e questionadora, não ignorando técnicas tradicionais e comprovadamente eficientes, mas se aliando a elas, levando aos espaços construídos à sustentabilidade espacial, econômica e ambiental. Se for impossível que um estádio de futebol como este seja 100% sustentável, que ao menos, seja feito um esforço para que este impacte o mínimo o meio ambiente.

É esta conscientização e sensibilização, movida pela reeducação da população, que estimulará a edificação de empreendimentos ditos “verdes”, através de uma mudança de postura, voltada para o compromisso com o futuro, na forma de se projetar e edificar. Caso isto não ocorra, teremos exemplos de “*greenwashes*”, ou seja, práticas pouco efetivas rodeadas de discursos “fervorosos e marqueteiros” sobre sustentabilidade. Política, infelizmente, adotada em arenas que se “dizem sustentáveis”, que não apresentaram nenhuma preocupação com a gestão ambiental de seus canteiros de obras, mas, como forma de se autopromoverem realçam a presença de bicicletários como se fosse uma medida ambiental muito importante. Mais importante, até mesmo, que o reaproveitamento de água de chuva, medida bastante onerosa e que necessita de planejamento prévio.

Agradecimentos

Registra-se o apoio monetário do CAPES/REUNI ao desenvolvimento desta pesquisa. Assim como, à SECOPA, à GCP Arquitetos e à Concremat Engenharia pela disponibilização de materiais de pesquisa.

Referências Bibliográficas

Bilenky, T. (2010). BNDES Força Estádios a Ficar "Verdes" Para Copa-14. In: Portal UOL, 20 jun. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/mercado/me2006201012.htm>

Coelho, S., Oliveira, A., Reverendo, M. (2012). Arena Pantanal. In: Portal Vitruvius, Projetos, São Paulo, 12.133, fev. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/projetos/12.133/4203> Acesso em: 14 nov. 2012.

Diniz, A. (2012). Construção da Arena Pantanal Adota Medidas Contra Calor. In: Portal Grande Área Esportes, 12 set. Disponível em: <http://www.augustodiniz.com.br/2012/09/construcao-da-arena-pantanal-adota-medidas-contra-calor/> Acesso em: 20 nov. 2012.

FIFA - Fédération Internationale de Football Association (2007). Football Stadiums - Technical Recommendations and Requirements. Zürich, Switzerland: FIFA, 4th Edition.

Guedes, A. F., Veloso, A. C. de O., Moreno, A. C., Mattos, M. C., De Souza, R. V. G. (2011). Copa 2014 - O Estádio do Mineirão e Diretrizes de Sustentabilidade na Primeira Copa Verde do Mundo. Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG.

John, G., Sheard, R., Vickery, B. (2007). STADIA: A Design and Development Guide. Fourth Edition Architectural Press: 306 p.

Mascarenhas, G., Bienenstein, G., Sánchez, F. (2011). O Jogo Continua: Megaeventos Esportivos e Cidades. Rio de Janeiro: Ed.UERJ. 302 p.

Massimino, R. (2009). Novo Verdão, Flexível e Sustentável. In: Portal 2014, 10 dez. Disponível em: <http://www.portal2014.org.br/noticias/1731/NOVO+VE+RDAO+FLEXIVEL+E+SUSTENTAVEL.html> Acesso em: 17 nov. 2012.

Massimino, R. (2010). Sete Estádios da Copa Podem Virar "Elefantes Brancos", Diz Estudo. In: Portal 2014, 25 jun. Disponível em: <http://www.portal2014.org.br/noticias/4038/SETE+ESTADIOS+DA+COPA+PODEM+VIRAR+ELEFANTES+BRANCOS+DIZ+ESTUDO.html>

Neto, T. (2010). Reciclagem Deve Gerar Economia de Até R\$ 1,2 mi na Arena Pantanal. In: Portal 2014, 09 ago. Disponível em: <http://www.portal2014.org.br/noticias/4888/RECICLAGEM+DEVE+GERAR+ECONOMIA+DE+ATE+R+12+MI+NA+ARENA+PANTANAL.html> Acesso em: 12 out. 2012.

Sattler, M. A., Pereira, F.O.R. (2006). Construção e Meio Ambiente. Porto Alegre: ANTAC. Coleção Habitare, v.7. 296 p.

SECOPA - Secretaria Extraordinária Para a Copa do Mundo em Mato Grosso. (2012). Madeira Certificada, Carbono Neutralizado e Elevadores Inteligentes: Arena Pantanal. In: Portal da Copa, 22 fev. Site do Governo Federal sobre a Copa do Mundo FIFA 2014TM. Ministério dos Esportes. Disponível em: <http://www.copa2014.gov.br/pt-br/noticia/sustentabilidade-uma-das-marcas-na-arena-pantanal-em-cuiaba>

SECOPA - Secretaria Extraordinária Para a Copa do Mundo em Mato Grosso (2012a). Arena Pantanal. In: Governo do Estado, 25 jun. Disponível em: <http://www.mtnacopa.mt.gov.br/index2.php?sid=388> Acesso em: 15 nov. 2012.

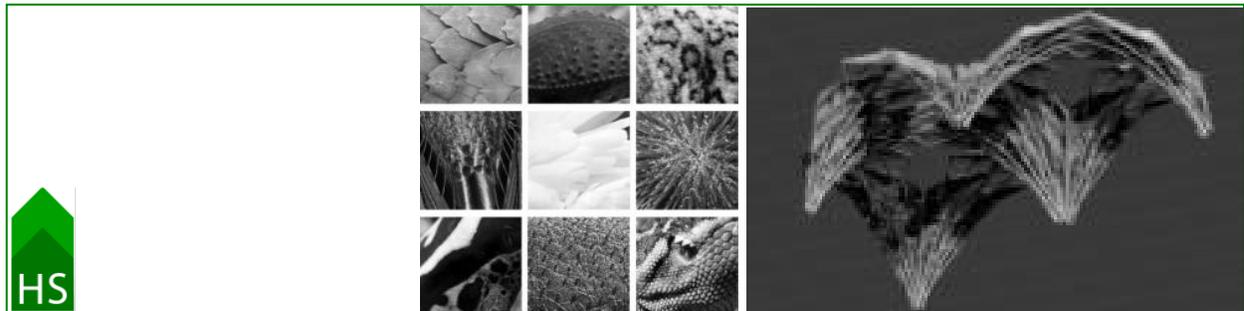
SECOPA - Secretaria Extraordinária Para a Copa do Mundo em Mato Grosso (2012b). Pórticos Para Sustentar Cobertura da Arena Pantanal Começam a Ser Montados. In: Portal da Copa, 29 jun. Site do Governo Federal sobre a Copa do Mundo FIFA 2014TM. Ministério dos Esportes. Disponível em: <http://www.copa2014.gov.br/pt-br/noticia/porticos-para-sustentar-cobertura-da-arena-pantanal-comecam-ser-montados> Acesso em: 20 nov. 2012.

Tóffano, R. (2013) Sustentabilidade em Estádios de Futebol: O Caso da Arena Pantanal em Cuiabá-MT. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental. Área de Concentração: Construção Civil. Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, Mato Grosso, 305 p.

Recibido: 29|07|2013
Aceptado: 10|10|2013

Antecedentes metodológicos y herramientas de diseño en el proyecto arquitectónico de la envolvente biomimética

Methodological background and design tools in the architectural design of the biomimetic envelope



Adriana Granero adriana.granero@gmail.com

Facultad de Arquitectura - Universidad de Belgrano – Buenos Aires, Argentina



RESUMEN

Palabras clave
Biomimética,
Membrana,
Diseño pasivo

Esta investigación responde a la problemática del diseño arquitectónico sustentable, con una búsqueda en los antecedentes y en las herramientas que admitan el concepto de una envolvente arquitectónica, con un sistema de construcción inspirado en la biomimética y organizando un límite arquitectónico a partir de una estructura celular, como propuesta que desafía el mejoramiento de los modelos; se busca el equilibrio entre el diseño y el uso de los recursos. El objetivo es realizar un análisis de antecedentes metodológicos y de las herramientas de diseño para crear una envolvente arquitectónica, inspirada en la biomimética y que reduzca el consumo de energía de un edificio diseñado para el clima de Buenos Aires, Argentina; con diseño pasivo y para responder a los efectos de la insolación e iluminación.

ABSTRACT

Key Words
Biomimicry,
Membrane,
Passive design

This research responds to the problem of sustainable architectural design, with a search in the background and tools that support the concept of an architectural shell, with a building system inspired by bio-mimicry and organizing an architectural limit from a structure cell, as a proposal that challenges the improvement of models, is seeking balance between design and use of resources. The objective is to get an analysis of methodological background and design tools to create an architectural shell, inspired by bio-mimicry and to reduce energy consumption of a building designed for the climate of Buenos Aires, Argentina, with passive design and to respond to effects of insolation and illumination.

1. Introducción

En 1995 se publicó “una arquitectura evolutiva” para coincidir con una exposición del mismo nombre en la Architectural Association. En esta publicación se concentra el trabajo dirigido por John y Julia Frazer (con Pete Plata y Westbrook Guy) entre 1989 y 1996, pero también incluye el trabajo de formación del autor. La publicación se remonta a cuando recibió su título de ganador del premio en el proyecto de AA en 1969 y los trabajos de investigación relacionados con la Universidad de Cambridge. El libro investiga los fundamentos que crean los

procesos de la forma en la arquitectura, teniendo en cuenta la arquitectura como una forma de vida artificial, y propone una representación genética en una forma de ADN como código de script, que luego puede ser objeto de procesos de desarrollo y la evolución es de respuesta al usuario y al medio ambiente. El objetivo de una arquitectura evolutiva es lograr en el entorno construido el comportamiento simbiótico y el equilibrio metabólico con el medio ambiente natural. Para ello, opera como un organismo, en una analogía directa con el proceso de diseño subyacente de la naturaleza.

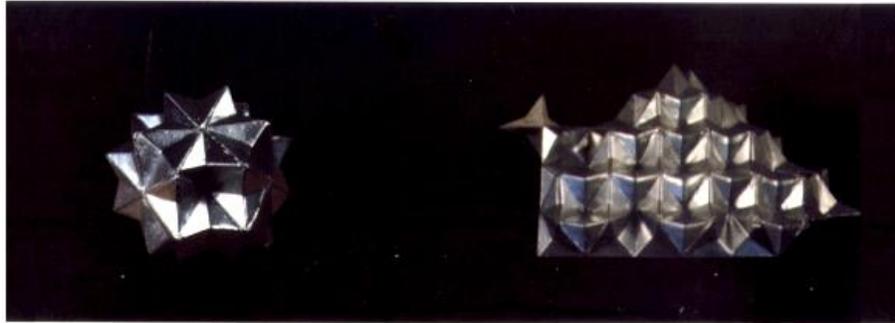


Figura 1: Sistema de estructura de reptil, modelos estructurales. Fuente: Frazer, 1968
 Figure 1: Reptile structural system, structural models. Source: Frazer, 1968

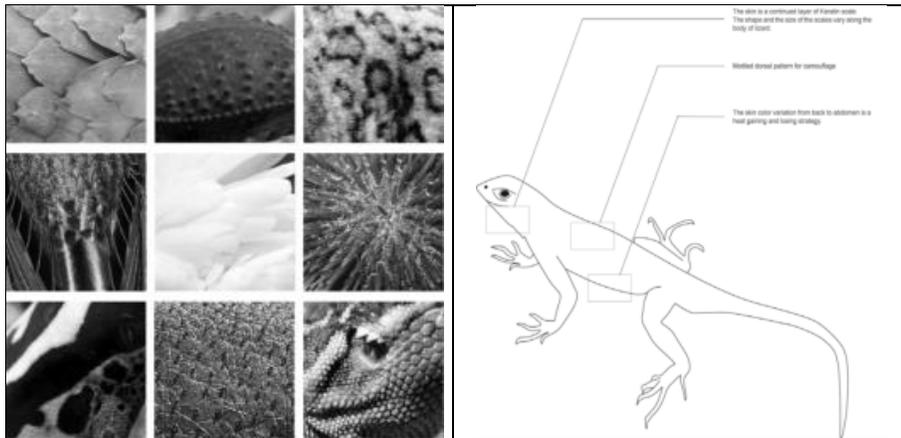


Figura 2: Ejemplo de inspiración biomimética para el control ambiental de un edificio basado en la piel de un lagarto.
 Fuente: Univ. USC Los Ángeles EU 2004.
 Figure 2: Example of biomimetic inspiration for environment control in a building based on lizard skin. Source: Univ. USC Los Ángeles EU 2004.

2. Algunas definiciones

La biomimética, de acuerdo con los autores, se puede interpretar como la fusión de las palabras en español:

bio + biometría + mimética + mimetismo

Donde,

bio: vida (Real Academia Española)

biometría: "es el estudio mensurativo o estadístico de los fenómenos o los procesos biológicos" (Real Academia Española),

mimética: camuflaje (Oxford) *mimetismo*: "Propiedad que poseen algunos animales y plantas de asemejarse a otros seres de su entorno" (Real Academia Española).

La biomimética es la ciencia que estudia la naturaleza como fuente de inspiración para resolver problemas humanos mediante modelos de sistemas, procesos y elementos que se inspira en la naturaleza.

Janine Benyus (Benyus, 2002) dice que existen tres niveles, el primero es el que imita la forma natural, el segundo es el que imita los procesos naturales y el tercero es el que copia funcionamiento de los sistemas, sus conductas.

Para interpretar cual es el potencial de imitar la naturaleza, podemos afirmar que en su evolución el habitar del hombre ha experimentado modificaciones que se rigen por un mayor rendimiento. El fenómeno que conocemos como evolución no es más ni menos que una optimización contra el campo de pruebas del medio ambiente. Todos los seres

vivos de la naturaleza han tenido que adaptarse a los continuos cambios en el proceso evolutivo y los que no, han desaparecido. Desde este punto de vista, el entorno construido es el resultado del proceso de mejoramiento del hábitat de la sociedad humana.

En algunas publicaciones más recientes (Mazzoleni, 2013) se plantea un ejemplo de inspiración biomimética para el control ambiental de un edificio. Se recreó una residencia para el clima del desierto, que imita el comportamiento y las características fisiológicas traducidas en piel de lagarto (Figura 2), esta descripción se puede consultar en la página 107 del libro antes mencionado). El patrón de color de la piel es típicamente un color oscuro en la parte posterior, como el de la lagartija, para la absorción de la luz solar y un color claro en el abdomen, para reflejar el calor de la tierra. Imitando la forma natural y que corresponde a características del clima desértico. La propuesta sugerida se compone de muros con paneles fotovoltaicos con forma de rombos, ventanas operables, acumuladores de temperatura y uniones con caucho sintético a base de un polímero de cloropreno.

Mientras que en otro eje, las investigaciones de Achim Menges y Steffen Reichert (2012), que exploran una nueva manera de respuesta de la forma arquitectónica en el higroscopio (

Figura 3), basada en la combinación de materiales inertes y la morfogénesis del cómputo. El trabajo exploró la inestabilidad dimensional de la madera en relación con el contenido de humedad y como se emplea para construir un clima de respuesta morfológico. La investigación consta de una suerte de membrana colocada y suspendida en una caja vidriada (una especie de pecera) donde se controla la humedad; en respuesta a esta fluctuación (cambio climático) de la humedad relativa, el modelo reacciona, abriéndose y cerrándose sin ningún tipo de equipo técnico o necesidad de energía. Imitando los procesos naturales.

Desde esta perspectiva, la envolvente arquitectónica responde a una forma de vida artificial, con un fenotipo determinado y con características morfológicas específicas.

El diseño de la envolvente arquitectónica puede verse como un problema de búsqueda de una solución, en el conjunto de las envolventes arquitectónicas, donde cada parte del conjunto

responde a una arquitectura distinta. Ahora bien, dado un criterio de performance, que socializara ambas experiencias, se diseñó una superficie que respondiera a este criterio, con la generación de nodos con conexiones y que permitió que la superficie pueda extenderse infinitamente. Esta superficie surge como un ensayo simple, pero a medida que se desarrollan las investigaciones se convierte en compleja, deja de ser una superficie rítmica, para transformarse en ruidosa (noise) ya que el mapeo es indirecto, depende del criterio de performance y del método de evaluación utilizado.

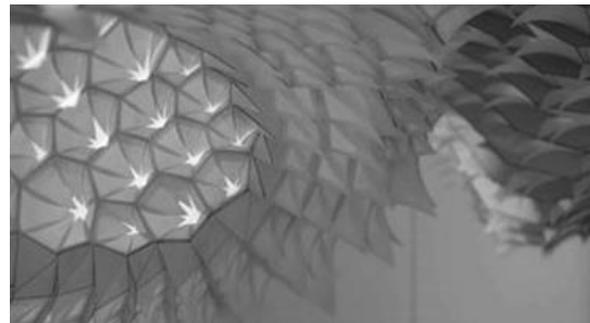
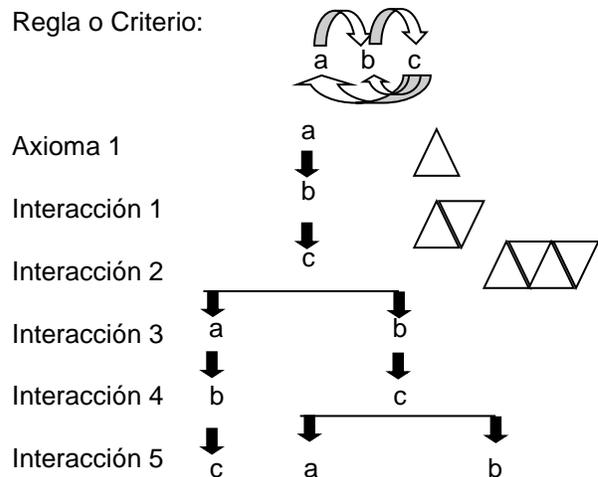


Figura 3: Higroscopio de Achim Menges y Steffen Reichert. Fuente: Menges y Reichert, 2012.
Figure 3: Achim Menges & Steffen Reichert hygroscope. Source: Menges and Reichert, 2012.

Se ha logrado establecer estos criterios con una relación hereditaria y recurrente, generando una superficie compleja, basándonos en lo que presenta Ernesto Bueno, en su trabajo de investigación "Consideraciones y recursos para la concepción de la forma en la era digital" (2008), y comienza nuevamente un ciclo de recombinación creando una serie de dependencias.

Regla o Criterio:



"a" constituye el axioma en esta sintaxis, el "gen" que contiene la composición alélica, el rasgo de organización.

"b" y "c" son las interacciones que constituyen la secuencia de enlace de un módulo base.

Actualmente, los algoritmos evolutivos (AE muy extendidos en los servicios públicos) que aplicados a la gráfica digital proponen soluciones inspiradas en la naturaleza y en la evolución natural, permiten la creación de mutaciones, selección y herencia, mientras que los algoritmos de procesos referidos a la inteligencia de enjambre a base de procedimientos (PSO) optimiza un problema teniendo en cuenta las posibles soluciones de posicionamiento de un objeto en forma de partícula que se mueven en el espacio en búsqueda de su mejor posición. Esta segunda clase, podemos enmarcarla dentro de un algoritmo heurístico, no determinada y por lo tanto no devuelve una solución óptima global, o sea no garantiza que la solución hallada sea la mejor. Pero la riqueza de esto radica en que nos proporciona un conjunto de óptimos posibles que son equivalentes en términos de rendimiento e incorporables al lenguaje arquitectónico.

Ahora bien, la arquitectura está integrada a un determinado ambiente, y la envolvente arquitectónica debe responder a ese ambiente, transformando al módulo base en un fenotipo que contiene los rasgos físicos (construcción geométrica y material) y conductuales.

Hasta ahora no se han planteado los rasgos conductuales y en este trabajo se pretende hacer un acercamiento a las características de la envolvente para responder de manera conductual.

Muchas de las palabras utilizadas aquí, dan cuenta de una integración léxica de técnicas generativas y computación gráfica (manual o con lenguajes interpretados). Las técnicas generativas están fundadas en una arquitectura evolutiva, cuyo objetivo es lograr en el entorno construido el comportamiento simbiótico y el equilibrio metabólico con el medio ambiente natural. Para ello, opera como un organismo, en una analogía directa con el proceso de diseño subyacente de la naturaleza y de la biomimética.

En el período pre-computacional de la arquitectura, el mejoramiento de la arquitectura se lograba simplemente con la acción interactiva

de ajustar el diseño con el objetivo de hacerlo mejor. Hace tiempo que se planteó que un buen proceso de diseño se genera mediante una "conversación de datos de la situación"... "reflexiona sobre la acción para la construcción del problema" (Schön, 1998), el proceso se basa en la reflexión, en las respuestas que se generan como réplicas. Este proceso es heurístico vagamente definido, como la intuición, sin embargo con la inclusión de los medios digitales este proceso o estrategia heurística pasó a ser exacta, con una optimización y un proceso de enfoque algorítmico. Pero el mejoramiento no es un concepto nuevo, el diseño es inseparable del acto de mejorar, ahora lo único que queda por comprobar es si el mejoramiento manifestado en la práctica digital puede remplazar a la intuición arquitectónica.

Explorando la realidad, en una pequeña escala de tiempo y con mirada superficial podemos decir que el entorno es una red estática e inerte, de nodos y conexiones rígidas, pero si el segmento del tiempo aumenta se manifiesta como un entorno dinámico, donde se percibe en el tiempo un flujo entre materia y energía, que continuamente da forma en sí mismo y cristaliza continuamente en él y en el afuera. Es un flujo de existir y como tal, siempre existe un desequilibrio, una diferencia potencial que genera el desplazamiento de la energía. La energía necesariamente debe fluir o almacenarse.

En este contexto, y con el planteo de una red de nodos y conexiones espaciales, se genera una suerte de locales óptimos donde cada uno es mejor que el anterior gracias al flujo de materia y energía, donde el mejoramiento pasa a ser un vector cambiante. La ciencia actualmente propone la teoría constructal, que considera que el acto de diseño en la naturaleza como un fenómeno de la física que une todos los sistemas animados e inanimados, esta teoría tiene una ley principal; para que el sistema de tamaño finito pueda persistir, debe evolucionar de manera tal que proporciones un acceso más fácil a las corrientes que impone el flujo a través de él.

En el caso de un objeto arquitectónico estos flujos guían su diseño que son de una naturaleza más difícil de racionalizar. Dentro de éstos se producen flujos funcionales, que son los de menor complejidad y están directamente vinculados con los ciclos y comportamientos sociales, que a su vez están en equilibrio entre el reposo y el movimiento.



Figura 4: Ejemplo de concepción y construcción previa de los alumnos.
Figure 4: Example of student conception and pre-construction.

El mejoramiento no es una acción sino un proceso que nunca termina, que define y da forma al flujo de materia y energía.

En este contexto ¿Cómo responder a dar forma arquitectónica para contener este flujo?

El Palacio de Cristal (1851) de Joseph Paxton, la Sagrada Familia (1882) de Antonio Gaudí, el Pabellón de Cristal (1914) de Bruno Taut, el Eastgate Center a Harare en Zimbabwe (1996) de Michael Pearce, el Swiss Re (2003), la Torre Hearts (2006) de Foster & Partner han dado una respuesta a la pregunta, algunos de manera ortogonal y con un lenguaje definido por mosaicos. En el último caso, gracias a los adelantos en el desarrollo y la aplicación de los sistemas Schüco FW 50+ y FW 60+.

3. Antecedentes y transferencias

Como antecedente a esta investigación, se han desarrollado desde el año 2008, con un cambio de plan de estudios, trabajos con alumnos pertenecientes a 2º año de la carrera de Arquitectura, en la Universidad de Belgrano, Buenos Aires, Argentina, en una materia que ha fusionado la morfología arquitectónica y la representación digital. Esta labor se ha visto influenciada y potenciada a partir del año 2009, por el trabajo de investigación realizado por la autora en el marco de la tesis Doctoral en Arquitectura, en la Universidad del Bio-Bio, Concepción, Chile.

Los antecedentes antes mencionados, generaron un cambio de modelo didáctico y con ello se modificaron los objetivos independientes. Con un propósito común se realizó una serie de experiencias como ensayos morfológicos orientados a la búsqueda y la construcción de una estructura compleja generativa a partir de tramas, la definición de axiomas y el comportamiento para encerrar espacios habitables. Los ensayos morfológicos iniciales se

realizan de manera manual, enlazando conceptos de técnicas generativas y vinculación con la gráfica digital, enfatizando la búsqueda de integración y un aprendizaje significativo, el nexo cognitivo. Se trabaja desde el concepto de trama en el plano y su transferencia a la trama en el espacio. Se construye sobre modelos analógicos manualmente y se traspone a modelos digitales, (Figura 5) realizando las interacciones de manera manual dentro de Rhinoceros® y Autodesk® 3DStudioMax. Los alumnos no poseen experiencia en el uso de la herramienta digital. El alumno debió realizar, a partir de una síntesis en el plano, una interpretación y propuesta en el espacio próximo y experimental perceptivo y real. Para luego llevar en forma de axioma la célula propuesta y realizar las interacciones de manera digital.

4. Desarrollo

La forma arquitectónica a la que se hace referencia es una organización en escalas múltiple: programática, estructural y material; no se puede entender como un evento genérico y aislado o inerte, se entiende como un proceso generativo de transacción y negociación, a través de la construcción y su adaptación a una situación por medio del muestreo o experimentación de fuerzas ambientales, físicas o materiales. Dar forma es un proceso selectivo, adaptativo y crítico, mediante el cual la morfología despliega su naturaleza genérica y fluctúa con un comportamiento colectivo e inteligente.

4.1 La envolvente arquitectónica biomimética

El uso de herramientas digitales permite la exploración de alternativas morfológicas de diseño, basadas en la producción. El modelo evolutivo fundado en la naturaleza, como proceso de generación de la forma arquitectónica, es un intento de lograr el comportamiento simbiótico y

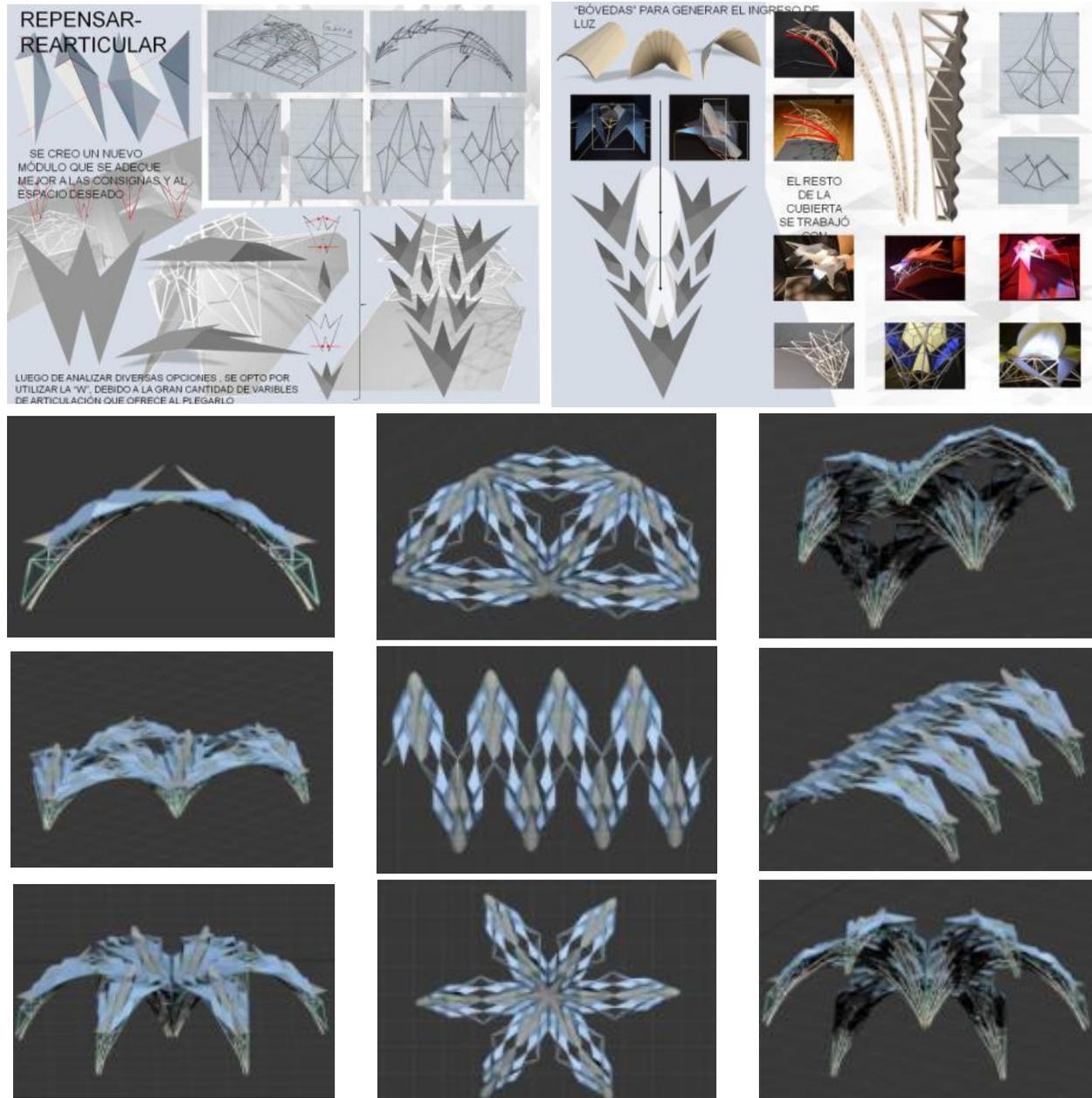


Figura 5: Ejemplo de concepción y representación de alumnos (Margosian-Waker).
Figure 5: Example of student conception and representation (Margosian-Waker).

el equilibrio metabólico, que son característicos del entorno natural. La creación de prototipos y el poder creativo de la evolución natural se emulan mediante la creación de modelos virtuales de arquitectura, que respondan a los cambios del entorno. El éxito de la evolución se estimula y se desarrolla. La arquitectura es considerada como una forma de vida artificial, está sujeta, al igual que el mundo natural, a los principios de la morfogénesis, la codificación genética, la replicación y la selección.

En 1956, Salvador Dalí decía: "la Arquitectura por venir será blanda y peluda"... "espero que la técnica me alcance algún día, porque todavía le llevo la delantera" (Estévez, 2009), él expresa que la Arquitectura tiene una dependencia directa con una cuestión técnica y que es sólo tener la técnica necesaria para representar y desarrollar los proyectos arquitectónicos. La misma fuente cita más adelante palabras de Dennis Dollens, uno de los

pioneros de la arquitectura digital, autodidacta, con intereses en las referencias biológicas, quien dijo en una conversación personal con Alberto Estévez en Barcelona, 2007: "what can be draw, can be built", lo que puedo dibujar, puedo construir.

Dicho esto, identificamos en los entornos digitales y en este contexto, el límite del espacio arquitectónico como una membrana (Figura 6), definida por sus cualidades de flexibilidad y su respuesta a las sollicitaciones de tracción.

Como elemento estructural, de poco espesor y escasa rigidez.

Podemos definir a una membrana, geoméricamente, como dos superficies y un espacio entre éstas, formando un todo.

$$r(u, v, z) = R(u, v) + zn$$

Donde,

$R(u,v)$: es el vector de posición de un punto de la superficie media,

n : es el vector normal a cada uno de los puntos de la superficie media,

z : valores variables que corresponden a menos la mitad de la altura o distancia entre ambas superficies a más de la mitad de dicha distancia.

Cada una de las superficies de esta membrana está conformada por elementos estructurantes aún más pequeños, a los efectos de esta experiencia se limita el diseño de estos elementos a objetos abstractos, es decir, en esta etapa del desarrollo, no están calculados ni dimensionados para cumplir con criterios de resistencia, rigidez, estabilidad o funcionalidad.

Estos elementos estructurantes de segundo orden son como las moléculas de lípidos en la bicapa lipídica.

Esta estructura responde al Modelo de Mosaico Fluido, que fuera propuesto en 1972 por S.J. Singer y Garth Nicolson.

Una vez determinado el contexto de la experiencia y sobre los que subyacen los conceptos arquitectónicos, se expresan reglas generativas como modo de evolución y se plantea que el desarrollo puede acelerarse y

verificarse por el uso de modelos computacionales. Los conceptos se describen en un lenguaje genético que produce una secuencia de comandos de código de instrucciones para el formulario generación.

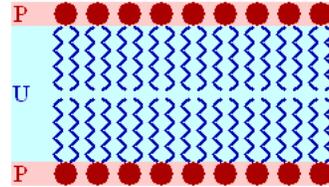


Figura 6: Esquema conceptual. Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c8/Lipid_bilayer_and_micelle.svg, 2013.

Figure 6: Conceptual diagram. Source: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c8/Lipid_bilayer_and_micelle.svg, 2013

Los modelos digitales se utilizan para simular el desarrollo de formas prototípicas, correspondiente a elementos estructurantes de la membrana que luego son evaluadas sobre la base de su desempeño en un entorno simulado (Figuras 7 y 8). Esta técnica permite muchos pasos evolutivos se pueden generar en poco tiempo y las formas emergentes son a menudo inesperadas y con mucha riqueza formal.

Las técnicas evolutivas recién ahora son posibles de aplicar a los problemas complejos relacionados con nuestro medio ambiente construido. Para lograr esto, tenemos que considerar como la forma estructural se puede codificar, para que, aplicando una técnica como "algoritmo genético evolutivo", definiendo criterios, procesos y desempeños:

¿Cómo funcionan los criterios para la selección? ¿Cómo trabajan los procesos morfológicos? y ¿cómo se desempeñan los procesos metabólicos que están adaptados para la interacción de forma construida y su entorno?

Una vez que se resuelven estas cuestiones, la computadora es utilizada no como una ayuda para el diseño en el sentido usual, sino como un acelerador de la evolución y la fuerza generativa.

La propuesta se basó en trabajos de matemáticos y en los teselados, partiendo de una célula o axioma con distintas características, y replicando ésta como entidad con características hereditarias, formando una endo-simbiosis seriada. Para la experiencia se utilizaron algunas

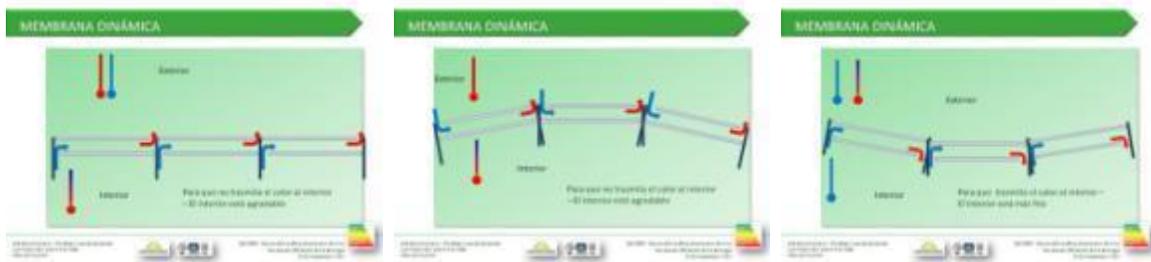


Figura 7: Diagramas presentados en el ELUREE 2013.
Figure 7: Diagrams presented at ELUREE 2013.

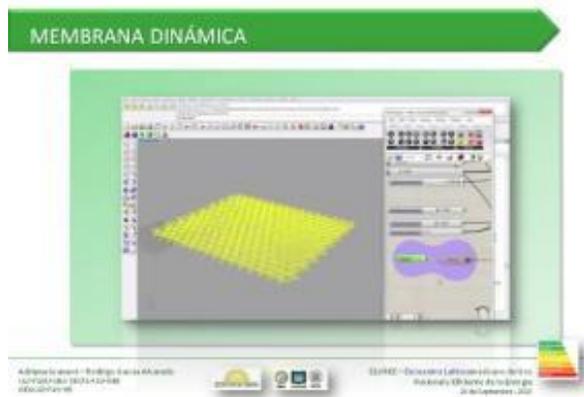


Figura 8: Diseño digital dinámico presentado en ELUREE 2013.
Figure 8: Dynamic digital design presented at ELUREE 2013.

herramientas digitales en combinación con un procedimiento geométrico inspirado en los trabajos antes mencionados.

Como expresamos al inicio de este documento, la experiencia buscó responder con un análisis metodológico y de herramientas de diseño arquitectónico, la creación de un sistema de construcción inspirado en la biomimética para crear una envoltura celular que satisfaga los desafíos de optimización de los modelos de forma energética; buscamos el equilibrio entre el diseño y el uso de los recursos.

El objetivo fue realizar una envoltura arquitectónica, inspirada en la biomimética para realizar el uso racional de recursos energéticos, con un diseño pasivo y para responder a los efectos de la insolación e iluminación.

Se planteó resolver esta envoltura generando una geometría compuesta por

módulos a modo de fenotipos que se replican como un patrón, estos módulos están vinculados con sus pares pero conservan cierto grado de libertad. Además estos módulos están compuestos por dos superficies distintas en sus dos caras, una corresponde a la parte superior y otra a la parte inferior del módulo, mientras que las caras laterales que se roza con las de los otros módulos adyacentes, han sido removidas. Esta construcción responde a que estos módulos o componentes de esta membrana como teselados funcionen como moléculas.

La inspiración actual de esta investigación corresponde a los trabajos como "The programmable Kinetic Fabric of Architecture" que utiliza un algoritmo genérico de tiempo real y "Active tensegrity study with physical engine 2" que posibilita el movimiento por tensión. Y dentro de los entornos de modelado paramétricos, donde conforman nuevos ámbitos cognitivos, en los cuales se concibe el proceso de diseño morfológico integrado a la tecnología digital, su fabricación y su ensamble.

5. Conclusiones

Existe un inminente límite físico entre lo que el diseño, como "pre-figuración" intelectual propone y su concreción física. A pesar de contar con las experiencias mencionadas como S.C.A.L.E.S. (smart - continuous - active - layered - environmental - system) propuesto en el libro de Mazzoleni (2013) y los descubrimientos presentados en el Higroscopio de Achim Menges y Steffen Reichert (2012), la creación, como parte de la imaginación, se ve restringida por carecer de fundamentos teóricos que corresponden a otras áreas del conocimiento. La falta de integración entre las áreas disciplinares agrava el diagnóstico y hace ineludible la consulta con

especialistas de otras áreas del saber, como la mecánica, la física, etc.

Podemos expresar que la pre-figuración de la arquitectura y su aprendizaje, se basa en una clasificación tridimensional con cuatro clases de operaciones, se recuerda con la memoria, se compara por semejanza, se vincula con la referencia el significado y se entiende o comprende por transferencia e implicancia, llevando a la construcción del lenguaje propio de la profesión. Cuando se realiza la operación de comparación, deriva en una división por clases en un pensamiento convergente, vinculado a la operación simbólica; cuando se relaciona el significado con la referencia, su naturaleza es divergente y se enlaza con la semántica, y cuando se entiende, se transfiere, se producen las implicancias, que llevan al desarrollo del lenguaje propio de la Arquitectura. Este lenguaje está vinculado estrechamente con los elementos de arquitectura y la estructuración, dichos elementos son los que se han modificado en la experiencia para responder de manera adecuada al paradigma sustentable y han provocado la evolución de la estructuración. Ahora se hace necesario proyectar con el aporte del área técnica, pero resulta complejo realizar esta vinculación y este enlace desde el inicio de la formación en arquitectura. La enseñanza de los aspectos sustentables en las etapas iniciales de la educación de los arquitectos no se realiza de manera creativa, sino como un soporte técnico en distintas etapas; afirmando que la formación actual de los arquitectos, expresado en sus currículos y contenidos, no considera aspectos sustentables relevantes en el inicio de la educación (Martínez, 2011). Las experiencias presentadas indagan la manera de enmendar esta situación, generando espacios de reflexión en el diseño. Nos planteamos cómo facilitar procesos de pensamiento de la *imaginación creadora* (Perez Lindo, 2012) desde la pre-figuración, relacionado con las tensiones

involucradas desde el inicio y el desarrollo del lenguaje arquitectónico.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a la Universidad de Bío-Bío, especialmente al Dr. Rodrigo García Alvarado, Director del Doctorado en Arquitectura y Urbanismo por su permanente estímulo a la investigación y a la publicación, a la Universidad de Belgrano, principalmente a la Arq. Mabel Brignone y a la Arq. Mónica Fernández Colombo por generar las oportunidades necesarias para permitir la elaboración de este trabajo de investigación.

Referencias Bibliográficas

- Benyus, J. M. (2009) *Biomimicry*. New York: HarperCollins e-books. 10987654321. 297p Adobe Digital Edition. ISBN 978-0-06-195892-2
- Estévez, A. (2008) *Arquitectura Biodigital Trabajo presentado al XII Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital, realizado en La Habana, Cuba del 1-5 Diciembre del 2008*. Disponible en: http://cumincades.scix.net/cgi-bin/works/Show?_id=sigradi2008_172&sort=DEFAULT&search=Estevez&hits=2
- Martínez, R. (2011) *Situating Environmental Design in the Studio-An ecological learning approach. Tesis Doctoral Universidad de Nottingham*. Nottingham, Gran Bretaña, Gran Bretaña. Disponible en: <http://etheses.nottingham.ac.uk/2368/>
- Mazzoleni, I. (2013) *Architecture follows nature-biomimetic principles of innovative design*. Boca Ratón-London-New York: CRC Press Series in Biomimetics.e-books. 230 p. ISBN-13: 978-1-4665-0609-1
- Perez Lindo, A. (2012) *Competencias docentes para el siglo XXI*. Buenos Aires, Argentina: Tinta Fresca. 160 p.; 21,5x13 cm. ISBN 978-987-576-570-2
- Schön, D. (1998) *El profesional reflexivo: Como piensan los profesionales cuando actúan*. Buenos Aires, Argentina: Paidós. 308 p.; ISBN: 84-493-0556-X Título original: *The Reflective Practitioner, How Professionals Think in Action*. Basic Books, A Division of HarperCollins Publishers. Traducción de José Bayo

Recibido: 07|11|2013
Aceptado: 21|11|2013

Ventilación de espacios de trabajo en edificios de oficina y su influencia sobre la eficiencia energética

Ventilation of work spaces in office buildings and its influence on energy efficiency



Ernesto Kuchen ernestokuchen@fau.unsj.edu.ar

Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat – Universidad Nacional de San Juan – San Juan, Argentina



RESUMEN

Palabras clave

Ventilación mecánica,
Ventilación natural,
Eficiencia energética,
Factor de ocupación

La eficiencia energética del edificio se ve afectada cuando se incrementa el aporte de confort al usuario. La calidad del aire de espacios interiores determina “estrategias de ventilación”, que difieren en natural o mecánica. Hoy en día constituye una variable de importancia en el balance de costos de funcionamiento para el edificio. En cuanto a ello, el objetivo del trabajo es evaluar el empleo de diferentes estrategias de ventilación y el grado en que se ve afectada la eficiencia energética. Para ello, se lleva a cabo un estudio de campo en 60 espacios de trabajo, distribuidos en dos edificios con variantes en el sistema de ventilación. La base de datos para el análisis se obtiene a partir de mediciones y encuestas a los usuarios. Para la evaluación de los resultados se consideran las exigencias de estándares internacionales y el diagnóstico del usuario. Entre los resultados se observa que un incremento sobre el factor de ocupación del edificio conduce a la incorporación adicional de equipamiento de consumo eléctrico, elevando demandas de calidad de aire, ventilación y climatización. Sobre ello se encuentran enormes potenciales de acción sobre los cuales se pueden efectuar cambios para garantizar la eficiencia de edificios en funcionamiento.

ABSTRACT

Key Words

Natural ventilation,
Mechanical ventilation,
Energy efficiency,
Occupation rate

The energy efficiency of buildings is affected when trying to improve levels of user comfort. Indoor air quality determines which ventilation strategies to implement, either natural or mechanical. Nowadays, this decision has become an important variable when balancing the operative costs of a building. Accordingly, this work aims to evaluate different ventilation strategies and their performance in regards to energy efficiency. A field study was carried out in sixty workspaces in two buildings featuring differences in ventilation systems. The database for the analysis was obtained from measurements and user questionnaires. Results were evaluated based on the requirements set by international standards and user observations. Results showed that an increase in the occupation rate in buildings lead to the incorporation of additional equipment with a consequent increase in electrical load, as well as further demands on air quality, ventilation and air conditioning. The study detected important opportunities for action in which changes could be made to ensure the improved efficiency of operating buildings.

1. Introducción

El edificio de la administración pública en Argentina es estudiado por concentrar enorme cantidad de actores sociales y, por ello, es un escenario propicio para generar conciencia colectiva en temas de interés como: eficiencia energética, cuidado de recursos y confort en general. La ventilación y el número de renovaciones de aire en interiores conduce a una mejora en la calidad de vida y productividad de los usuarios en tareas de oficina (Wyon, 2000). Producto de la respiración y la baja ventilación, un incremento del porcentaje de CO₂ (dióxido de carbono), en aire, indica una disminución de calidad del aire (Mølhave et al., 1997). La ventilación tiene efectos positivos sobre la salud, sobre todo cuando se tiene la posibilidad de control de apertura de ventanas (Gossauer et al., 2006). En espacios con ventilación natural (NAT), es la única estrategia para mejorar la calidad del aire.

El aporte de grados de libertad al usuario en la apertura de ventanas, conduce a un incremento en la satisfacción del usuario (ISSO 74, 2004). Normas internacionales definen umbrales de calidad del aire, en función de la concentración del gas CO₂ (DIN EN 13779, 2007), requerimientos mínimos en ventilación (ASHRAE 62, 2010), efectividad de las renovaciones de aire (ASHRAE 129, 1997), etc. Los usuarios no son receptores pasivos del aire que respiran (Wyon, 2000), ya que superadas ciertas concentraciones de CO₂, reaccionan sin poder adaptarse a menores valores de renovación que les sean impuestas, lo cual es posible en edificios con ventilación mecánica (Edificios MEC).

En este trabajo de campo se evalúan las ventajas de la ventilación natural y mecánica, la calidad del aire y eficiencia energética del edificio. Para ello se llevan a cabo mediciones y encuestas en 60 espacios de trabajo distribuidos en dos edificios en la ciudad de San Juan, Argentina. Los resultados indican que la renovación de aire por ventanas en edificios NAT, no es garantía para obtener mejores valores de eficiencia energética y por el contrario, la falta de equipamiento para calefacción suele conducir la incorporación de equipamiento adicional (Ej.: estufas eléctricas), sin un control adecuado sobre el régimen de uso. Por otro lado, mantener la calidad del aire en recintos de

edificios MEC mediante el control de renovaciones de aire por el sistema de climatización podría conducir finalmente a ahorros de energía. Estos resultados pretenden servir de aporte, ya que valores conocidos de concentración de CO₂ permitirían abordar estrategias de ventilación natural, mecánica y sus combinaciones, en pos de hacer más eficientes los sistemas y cuidar los recursos energéticos involucrados en el funcionamiento del edificio.

2. Desarrollo

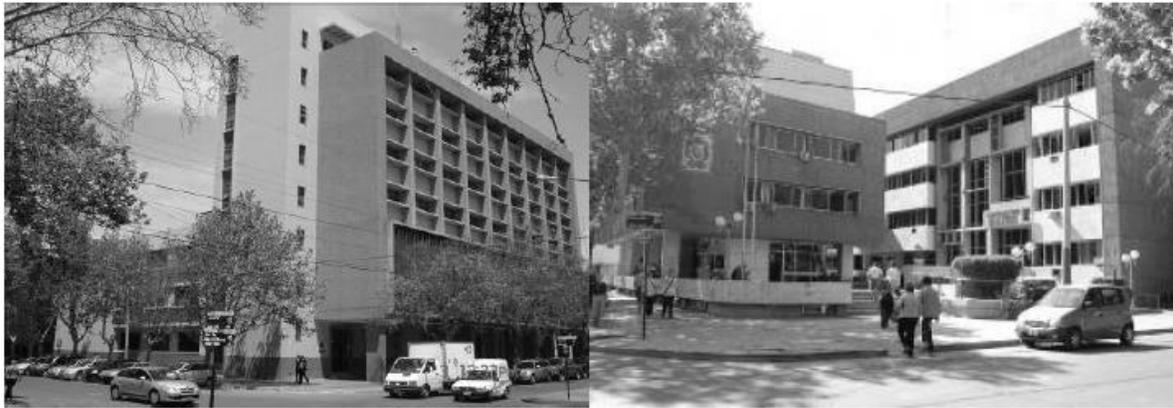
2.1 Objeto de estudio

Se toma el espacio de trabajo en edificios de oficinas de la administración pública de la ciudad de San Juan, Argentina. Se miden 60 unidades, distribuidos en dos edificios con diferencias en ventilación y climatización. El Edificio Central de la Universidad Nacional de San Juan, en adelante ECU (construido en 1952), con ventilación mecánica (en adelante MEC) y el Edificio de la Municipalidad de la Capital de San Juan, en adelante MUN (1976), con ventilación natural (en adelante NAT), (Figura 1). Ambos se proyectan para el plan de reconstrucción (San Juan, terremoto de 1944), se emplazan sobre el eje cívico institucional de la ciudad, en zona bioambiental IIIa (ver Norma IRAM 11603), con clima templado cálido, media anual de temperatura exterior de 17,2°C y de humedad relativa del 53%.

Ambos se proyectan bajo criterios del movimiento moderno e incorporaciones regionalistas del tipo "Bioclimáticas". Características como aridez, elevada radiación solar, amplitud térmica, baja humedad ambiente y vientos del sector sudeste, se combinan en una arquitectura pasiva, resuelta mediante: inercia térmica, uso de parasoles, variación del porcentaje de vidrio según orientación de fachadas en ambos. En ECU predomina un desarrollo longitudinal este-oeste del sector oficinas. Además de variaciones en el sistema de ventilación/climatización se detectan diferencias destacables que se exponen en los resultados.

2.2 Sistemática de medición

A diferencia de la medición de un período extenso (longitudinal), se practica una observación puntual, de tipo transversal, de variables de análisis en tres estaciones del año



ECU "Edificio Central de la Universidad Nacional de S. Juan"
ECU "Central Building of the. National University of S. Juan"

MUN "Edificio de la Municipalidad de la Capital de S. Juan"
MUN "Provincial town hall building"

Figura 1: Edificios analizados, con diferencias en el sistema de ventilación/climatización.
Figure 1: Analyzed buildings with differences in the heating, ventilation and air conditioning systems.



Sensor de CO₂, - Marca:Telaire
7001
CO₂-Sensor – Brand:Telaire7001



CABLE-CO₂ de conexión
CO₂-Cable connection



Acumulador de datos HOBO U12-
006
Data logger HOBO U12-006

Figura 2: Sensor para medición móvil en relevamiento del gas dióxido de carbono, CO₂.
Figure 2: Equipment for the mobile measurement of carbon dioxide, CO₂.

(invierno, período transitorio y verano). Se sistematiza la medición a fin de obtener información de la mayor cantidad de espacios, durante una jornada representativa de cada período de estudio.

La sistemática de medición móvil consiste en trasladar el instrumental de la medición dentro del edificio. Se comienza a primera hora de la mañana. El registro se toma junto al lugar de trabajo (escritorio) a $0,90 \pm 0,20$ m sobre el nivel de piso terminado. El intervalo de medición es de 1' (minuto). El período de adaptación del sensor es de 3' y la medición dura 5'. Para el traslado al siguiente espacio de trabajo deben contemplarse 5' adicionales.

Paralelamente a la medición, el usuario responde una encuesta corta mediante escalas

de valor verificadas en la norma (ISO 10551, 2002), sobre aspectos psicológicos, fisiológicos y físicos (Kuchen, 2008). La encuesta constituye una medición de tipo subjetiva. A través de un relevamiento ocular y en simultáneo a la medición de cada espacio de trabajo, el asistente de medición vuelca datos sobre una planilla en forma manual, considerando: características de la fachada, ventanas y puertas (tipo y estado de apertura), tipo de parasol, orientación, dimensiones, estado del cielo, estado de funcionamiento del sistema de ventilación/climatización, cantidad de personas, origen de emisión de olores que puedan afectar la calidad del aire, etc. (Kuchen et al., 2009).

En total el procedimiento dura no más de 10 minutos por espacio y considerando el desplazamiento de los sensores, es posible

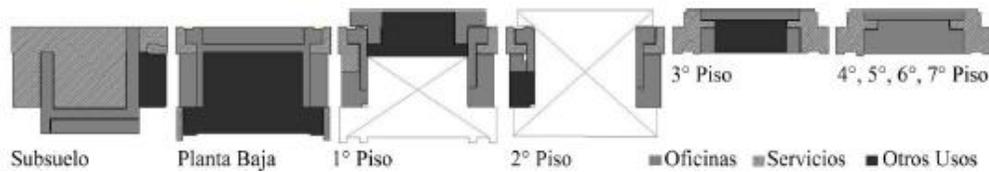


Figura 3a: Distribución en usos para el Edificio ECU.
Figure 3a: Building use distribution in the ECU Building.



Figura 3b: Distribución en usos para el Edificio MUN.
Figure 3b: Building use distribution in the MUN Building.

relevar 4 (cuatro) espacios por hora. El sensor de CO₂ empleado es un Telaire 7001, sensibilidad ± 1 ppm, tiempo de respuesta menor a 60" y precisión ± 50 ppm 2%, a temperatura del aire (t_a) de 25°C, intervalo de 0-2500 ppm para $0^\circ\text{C} < t_a < 50^\circ\text{C}$ y $0\% < \text{humedad relativa (RH)} < 95\%$. Los datos de medición se colectan mediante acumulador de datos (datalogger) tipo HOBO U12-006 conectado al sensor por CABLE-CO₂ (Figura 2).

A fin de obtener datos adicionales para la evaluación del funcionamiento energético se consideran: la potencia instalada en equipos de ventilación/climatización, iluminación, artefactos de consumo eléctrico y aquellos que se prevé que generan una demanda importante de energía (Ej.: ascensores). El ente regulador de energía es quien aporta el registro de consumos históricos del edificio. Mediante esta metodología se pretende evaluar la influencia de variantes de ventilación sobre la eficiencia energética del edificio.

3. Resultados

A continuación se exponen resultados en relación con diferencias detectadas en la distribución de superficie útil, el factor de ocupación (espacios de oficina), la calidad de aire (medición), régimen de ventilación natural (apertura de ventanas), satisfacción del usuario (encuesta) y demanda/consumo de energía en climatización, iluminación y aparatos de consumo eléctrico.

3.1 Superficie útil

De la superficie total del edificio en bruto, se discriminan una neta y otra útil. Esta última es de interés en la evaluación energética ya que es aquella en donde se involucran las mayores demandas de energía del edificio en equipamiento, ventilación, climatización, iluminación, etc. Por ello, los indicadores de eficiencia se toman en la unidad de $[\text{kWh}/\text{m}^2_{\text{útil}}\cdot\text{a}]$.

La discriminación de superficie útil para el análisis conduce a definir tres Sectores en: Oficinas (espacios de trabajo y pasillos), Servicios (sala de máquinas, baños, ascensores y escaleras) y Otros Usos (Hall, circulaciones, archivos, salas de reuniones). En Figura 3a se muestran las plantas tipo de ECU con una superficie total de 5.320 m². De la cual el 46% se distribuye en Oficinas, 30% en Servicios y un 24% en Otros Usos. En Figura 3b se observa la división para MUN con un total de 5.421 m² que se divide en un Bloque A de 3.664 m², distribuida en 62% Oficinas, 13% Servicios y 25% Otros Usos y un Bloque B de 1.757 m², con un 63%, 10% y 27% respectivamente. En ambos edificios predomina la superficie destinada a Oficinas (espacios de trabajo).

3.2 Factor de ocupación

Es un indicador de uso del espacio interior para evaluar necesidades de ventilación, cargas térmicas y demandas energéticas por oficina. A modo de comparación la Figura 4 muestra que en MUN se destinan 2,5 m² de superficie útil por

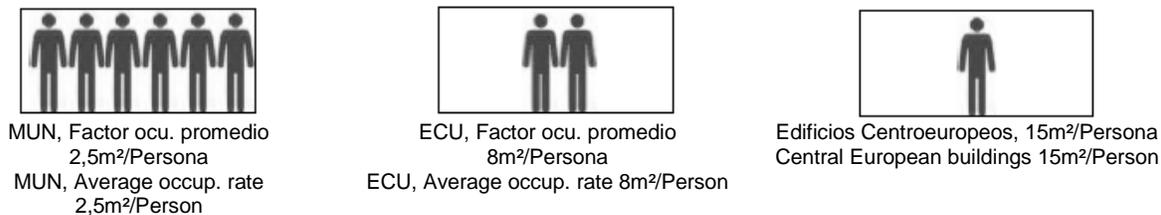


Figura 4: Factor de ocupación. A modo de comparación con referencia a cantidad de usuarios en 15m².
 Figure 4: Occupation rate, a comparison with reference to user quantity in 15m².

persona. En ECU, es menor con 8m²/Pers. En edificios demostrativos tomados como referentes en eficiencia energética, se da un promedio de 15m²/Pers.

El incremento del factor de ocupación en los edificios locales exige aumentar el número de renovaciones de aire para mejorar la calidad del aire interior (ASHRAE 62, 2010) e introducir mayor cantidad de equipamiento en oficinas, afectando las cargas térmicas de verano y solicitando el sistema de ventilación/climatización. Estas condiciones exigen evaluar la calidad del aire en interiores y el consumo energético del edificio.

3.3 Mediciones

Para la evaluación de la calidad del aire se toman datos obtenidos de mediciones y encuestas de los usuarios y se contrastan con el estándar de referencia DIN EN 13779, 2004.

Dióxido de Carbono

La cantidad de gas dióxido de carbono CO₂ es indicador de uso del aire/necesidad de ventilación. Concentraciones elevadas pueden ser perjudiciales para la salud (Mølhave, 2003). Es conocido que el aire exterior posee una concentración promedio de CO₂ de 380 ppm, aunque en zona urbana se registran valores superiores de hasta 440 ppm (Zambrano; Fumo, 2008). La frecuencia de renovaciones de aire se ve afectada por las exigencias de calidad de aire en el interior de espacios de trabajo. El período de invierno limita la frecuencia de apertura de ventanas para la renovación en edificios del tipo NAT. La Tabla 1, muestra las categorías que propone la norma DIN EN 13779 y el período describe la calidad del aire en función de las concentraciones de CO₂ en [ppm].

Tabla 1: IDA “Aire interior”. Clasificación de la calidad del aire según la norma alemana DIN EN 13779, 2007. Fuente: DIN, 2007.

Table 1: IDA “Indoor Air”. Classification of air quality according to DIN EN 13779, 2007. Source: DIN, 2007

Categorías	Descripción de la Calidad del Aire	Intervalos de Concentración de CO ₂
IDA 1	Especial	CO ₂ ≤ 400 ppm
IDA 2	Alta	400 < CO ₂ ≤ 600 ppm
IDA 3	Mediana	600 < CO ₂ ≤ 1000 ppm
IDA 4	Baja	CO ₂ > 1000 ppm

De los 60 espacios, se toman 135 mediciones en MUN y 121 en ECU a lo largo de los tres períodos. Aunque más del 85% de los espacios MEC poseen ventanas operables, se supone que el sistema de ventilación permite asegurar condiciones mínimas de renovación de aire. En espacios NAT, no es posible mantener adecuada ventilación si no se recurre a la apertura de ventanas, estrategia que debe implementarse en invierno inclusive.

La Figura 5 muestra datos relevados de ambos edificios durante el período de invierno, es decir, cuando la estrategia de ventilación se ve mayormente afectada. La suma de frecuencias de valores de medición en espacios con diferentes estrategias de ventilación y se superpone la referencia a edificios Centroeuropeos (Kuchen et al., 2009). De los resultados, se observa que el 85% de los casos en espacios NAT y el 75% en espacios MEC, la concentración de CO₂ se ubica entre 600-1000 ppm y que según referencia, se corresponde con una calidad de aire “media” (Tabla 1). El 15% de los espacios NAT y el 20% de espacios MEC, no superan el límite de 600 ppm (calidad “alta”). Por otro lado, ninguna medición en espacios NAT se

encuentra por encima del valor admisible de 1000 ppm (calidad “baja”). En edificios Centroeuropeos predominan valores más elevados de CO₂ que en edificios locales. Hay que considerar que la estrategia de ventilación en estos últimos se orienta a bajar al mínimo las renovaciones de aire para obtener mejoras en eficiencia energética a partir del concepto de recuperación térmica.

Ventilación manual

En la Figura 6 se muestran valores de concentración de CO₂ máximo, mínimo, desviación estándar y promedio en período de invierno, transitorio y verano de ambos edificios. Estos se comparan con la información del estado de apertura de ventanas, “si/no” del relevamiento simultáneo a la medición. En invierno, no se observa apertura significativa de ventanas. Lo notable de ello es que el edificio NAT no presenta valores elevados de CO₂. La mayor dispersión de datos se da en invierno en el edificio MEC. En período transitorio se observa un mínimo incremento de apertura de ventanas en el edificio MEC y cercano al 25% en el edificio NAT. Los valores de concentración de CO₂, son similares para ambos edificios y según Tabla 1 con predominio de calidad de aire “media”. La apertura de ventanas en NAT se incrementa del invierno al período de verano y aun así no se traduce en una variación significativa en la concentración del gas, de lo cual se deduce que es posible contar con baja estanqueidad del cerramiento de fachada y elevadas infiltraciones de aire. En el edificio MEC se observa un aumento considerable de la apertura de ventanas en verano.

En estrategias de ventilación natural, el usuario posee la libertad de accionar manualmente la apertura de ventanas en ambos edificios. Este único medio de renovación del aire en edificios NAT es una estrategia válida para asegurar condiciones térmicas y de calidad de aire aceptables, que se incrementa en uso del invierno al verano en un proceso de adaptación térmica continuo. En el edificio MEC la estrategia de ventilación por ventanas no es recomendable para una mejora de la eficiencia energética del edificio, ya que las renovaciones de aire deben ser controladas por el sistema de ventilación mecánica. Los motivos de emplear esta estrategia en ambos edificio y la frecuencia de ello conducen a evaluar la opinión del usuario.

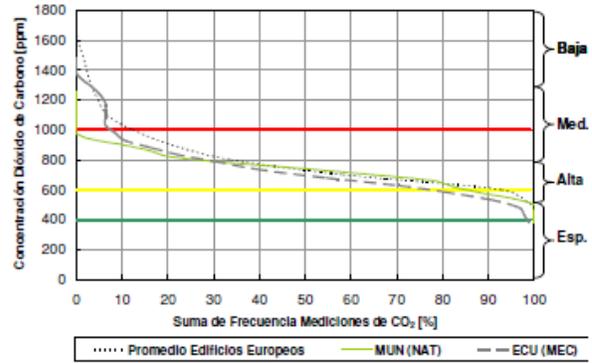


Figura 5: Sumatoria de frecuencias de valores de medición de la concentración de CO₂ en espacios NAT y MEC. Promedio de edificios Centroeuropeos. Límites/categorías definidas en la norma DIN EN 13779. Fuente: Kuchen, 2008.

Figure 5: Sum total of frequencies of measured CO₂ values in NAT and MEC spaces. Average of central european buildings (Kuchen, 2008). Limits / categories according to DIN EN 13779. Source: Kuchen, 2008.

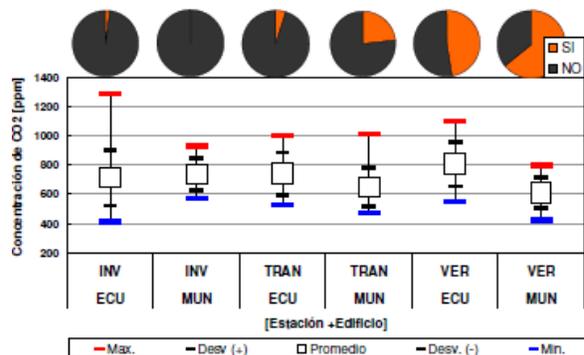


Figura 6: Porcentaje de apertura de ventanas (si/no) en cada período y edificio. Valores máximos, mínimos, medios y desviación estándar en períodos de invierno (INV), transitorio (TRA) y verano (VER). Fuente: Kuchen 2008.

Figure 6: Percentage of window openings (yes/no) in each period and building. Maximum, minimum, average and standard deviation in winter (INV), spring and fall (TRA) and summer (VER). Source: Kuchen, 2008.

3.4 Encuesta

Se trata de una encuesta corta de 2 (dos) páginas que el usuario responde simultáneamente a la medición con sensores. Entre otros, la encuesta se enfoca sobre las percepciones de olores, calidades del aire, térmicas y visuales. En ECU se llevan a cabo 157 encuestas y en MUN, 135 encuestas en los tres períodos de estudio: invierno, período transitorio y verano.

Presencia de olores

Para el análisis sobre la presencia de olores, el usuario responde la pregunta: “En su lugar de trabajo percibe olores:”, pudiendo indicar “si/no”. De modo sorprendente, la Figura 7 muestra una similitud de opinión entre usuarios de ambos edificios. En principio se podría estimar que más de 60% de los usuarios percibe olores en sus espacios de trabajo.

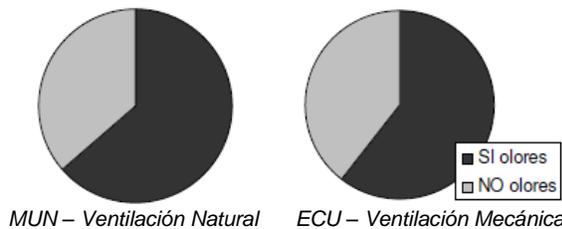


Figura 7: Distribución porcentual del voto de sensación de olores “si o “no”.
Figure 7: Percent distribution of answers to the smell sensation question, “yes” or “no”.

Calidad del aire

En la encuesta, el enunciado sobre calidad del aire dice: “En este instante, percibo la calidad del aire como:”, que se valora mediante una escala de 7 puntos (Figura 8), elaborada mediante los requerimientos idiomáticos locales, propuestos por la norma EN ISO 10551, 2002, con valores que van desde 1 (muy mala calidad), pasando por 2 (mala), 3 (levemente mala), 4 (regular), 5 (levemente buena), 6 (buena), hasta 7 (muy buena calidad de aire).

Muy mala	○	○	○	○	○	○	○	Muy buena
----------	---	---	---	---	---	---	---	-----------

Figura 8: Escala de siete puntos para definir la calidad del aire en la encuesta del usuario.
Figure 8: Seven-point scale to define air quality on the user questionnaire.

Sobre esta escala los que votan 1, 2 y 3, se consideran insatisfechos, los que votan 4 se consideran indiferentes y los que votan 5, 6 y 7, satisfechos con la calida del aire (Kuchen et al., 2009). La Figura 9 muestra la distribución porcentual del voto de satisfacción, en relación a los valores de concentración de CO₂ para valores de hasta 600 ppm y hasta 1000 ppm, medidos en espacios de oficina. Se observa que al elevarse la concentración del gas CO₂, se obtiene un incremento de disconformidad en el edificio NAT del 20 %. En el edificio MEC el incremento de disconformes es despreciable, cercano al 2%, pudiendo entender que los usuarios de espacios

NAT son más sensibles a cambios en la calidad del aire. Como se observa en Figura 5 y Figura 6, no se dispone de valores significativos para elaborar diagramas de distribución para concentraciones mayores a 1000 ppm.

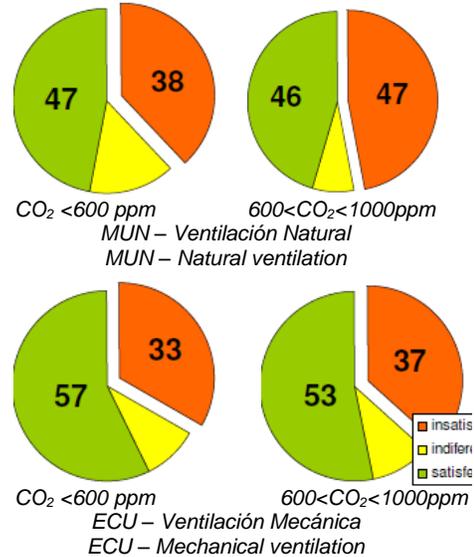


Figura 9: Distribución porcentual del voto de calidad del aire por los usuarios en: insatisfechos, indiferentes y satisfechos.
Figure 9: Percent distribution of user opinion on air quality: dissatisfied, indifferent and satisfied.

3.5 Valores de energía

Consumo de energía final

Los valores de consumo son suministrados por el ente regulador de la energía. El consumo real de energía final en ECU-MEC es de 161,1 kWh/m²a. En MUN-NAT se eleva con factor 3, sobre ECU-MEC, con 496 kWh/m²a, superando el valor de la tarifa contratada.

Equipamiento por oficina

Se prevé que gran parte de la demanda de energía puede estar afectada por el equipamiento de espacios de trabajo, ítem que se denomina “Artefactos Eléctricos”. Los valores se obtienen de medir 21 espacios reales de trabajo en el Bloque A y 14 en el Bloque B del edificio MUN-NAT. En ECU-MEC se consideran 25 espacios de oficina. La Figura 10 muestra una distribución porcentual de demandas que genera el equipamiento de ambos edificios, donde se destacan las “Estufas eléctricas” con el 42%, seguidas de “PC” (CPU) con el 31% en MUN-

NAT y en ECU-MEC, "PC" con el 43% seguido de "Estufas Eléctricas" con el 20%. Esto conduce a comparar con la demanda energética global de cada edificio.

Demanda energética

En relación con estándares internacionales de eficiencia, la demanda de energía se calcula sobre los ítems de análisis: Ventilación, Refrigeración, Calefacción e Iluminación. En MUN-NAT, la demanda calculada sobre estos ítems en el sector Oficinas asciende a 451,5 kWh/m²a, de lo cual, el Bloque B es responsable de más del 70% debido a la existencia equipamiento sobredimensionado para climatización, incorporado recientemente. En ECU-MEC, la demanda de Oficinas asciende a un total de 153,6 kWh/m²a.

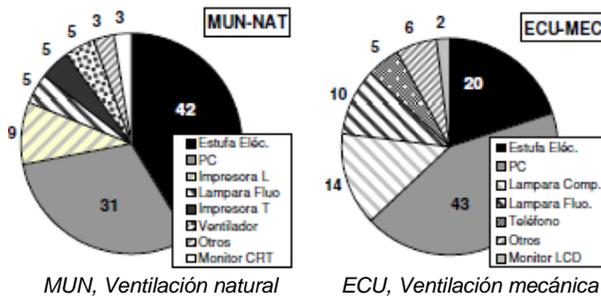


Figura 10: Distribución porcentual de "Artefactos Eléctricos".

Figure 10: Percent distribution of "Electric devices".

La Figura 11 muestra la distribución porcentual de ambas demandas discriminadas en los ítems de análisis y se comparan con la distribución porcentual del valor de referencia para edificios demostrativos de Centroeuropa, pertenecientes al Programa EnBop (Energie Betriebsoptimierung), que significa: optimización energética del edificio en su etapa de funcionamiento (ver EnBop 2008 y Kuchen et al., 2009). En estos edificios se pretende alcanzar una demanda de PE (Energía Primaria) de 100 kWh_{Prim}/m²_{Util}a para cubrir necesidades de ventilación, calefacción, refrigeración e iluminación. En el análisis se incorpora la información del ítem "Artefactos Eléctricos". El ítem "Artefactos Eléctricos" constituye un gran problema por resolver.

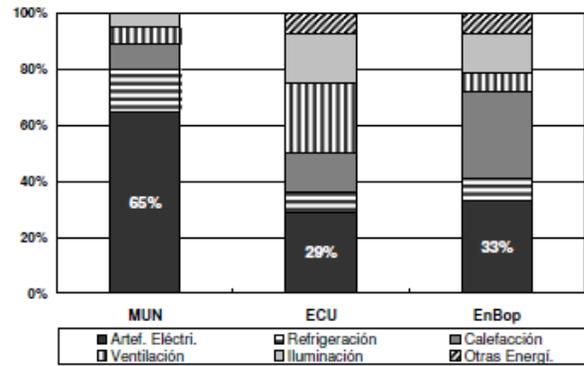


Figura 11: Distribución porcentual de demandas energéticas en los dos edificios analizados y referencia al Programa EnBop.

Figure 11: Percent distribution of energy demands in the analyzed buildings and the EnBop Program.

En MUN-NAT la distribución de demanda se ve afectada fuertemente por el ítem "Artefactos Eléctricos" con el 65% sobre el total. La supremacía de este ítem sobre los demás se debe al elevado factor de ocupación del espacio de trabajo y a la incorporación de gran cantidad de "Estufas Eléctricas" para cubrir demandas de calefacción. En este edificio, el ítem "Refrigeración" y "Calefacción" se cubre mediante el uso de acondicionadores tipo Split frío/calor, de potencias variables.

Potenciales de eficiencia energética

Los resultados indican elevados potenciales de eficiencia para ambos edificios, elaborar propuestas de solución y evaluar su viabilidad como solución al problema del uso de la energía. Una lista de 10 acciones para ambos edificios pretende servir de guía en la toma de decisiones a la hora de producir mejoras, que se inician con soluciones de baja inversión y que conducen a ahorros inmediatos.

Para MUN-NAT:

- Control de ejecución en todo tipo de tareas de saneamiento y de monitoreo del funcionamiento edilicio.
- Reducción Factor de Ocupación.
- Reducción de "Artefactos Eléctricos" por Espacio de Trabajo.
- Prohibición Uso de "Estufas Eléctricas" o incorporación Equipamiento adicional.

- Control on/off Split frío/calor en función del Clima Exterior + Sensor de Presencia Usuarios.
- Semáforo indicador Apertura de Ventanas en función de Concentración de CO₂.
- Actualización de "Artefactos Eléctricos" por "Artefactos Eléctricos Eficientes" Clase "A++"
- Incorporación Sistema de Climatización Central frío/calor.
- Saneamiento Fachada, disminución de Infiltraciones de Aire por Cierre Hermético en Ventanas.
- Saneamiento de Fachada, aislación térmica del paramento exterior.

Para ECU-MEC:

- Control de ejecución en todo tipo de tareas de saneamiento edilicio y de monitoreo del funcionamiento.
- Prohibición Uso de "Estufas Eléctricas" o incorporación Equipamiento adicional.
- Control Renovaciones de Aire mediante 1 (un) Sensor medición de CO₂.
- Control on/off Sistema de Calefacción y Refrigeración en función del Clima Exterior.
- Set-Point de Temperatura Variable, Calefacción/Refrigeración en función del Clima Exterior.
- Control on/off Apertura de Ventanas versus Control on/off Difusor de Ventilación.
- Actualización de "Artefactos Eléctricos" por "Artefactos Eléctricos Eficientes" Clase "A++"
- Control on/off Apertura de Parasoles móviles en Fachada versus Control Ganancia Solar Directa.
- Saneamiento Fachada, disminución de Infiltraciones de Aire por Cierre Hermético en Ventanas.

- Saneamiento de Fachada, aislación térmica del paramento exterior.

4. Conclusiones

El edificio de la administración pública, además de tener la función social de recibir elevado afluente colectivo, es escenario propicio para gestionar cambios de conciencia populares. En general, y en relación al uso de los recursos energéticos, se observa una enorme deficiencia producto del bajo mantenimiento y uso indiscriminado de las instalaciones. La envolvente (fachadas) de edificios construidos hace más de 40 años no es saneada bajo las exigencias de estándares dedicados al cuidado y conservación de la energía y las nuevas intervenciones no suelen ser controladas sus ejecuciones.

El mínimo de eficiencia se atribuye a soluciones del tipo "Bioclimáticas" previstas en la etapa de proyecto. El uso energético se ve afectado por cambios en el régimen previsto para el funcionamiento del edificio. Por ejemplo: la incorporación de Recursos Humanos (personas), no llega a ser motivo de cambios en la estructura de funcionamiento. La sobre ocupación del espacio de trabajo lleva a incluir equipamiento adicional, afectando fuertemente la eficiencia del funcionamiento.

El porcentaje de usuarios que indican percibir olores en los edificios analizados en este trabajo, es elevado (>60%). Aún así, la ventilación por Ventanas suele ser una estrategia empleada sólo en el período de verano y con marcada frecuencia en el edificio de la Municipalidad (MUN). Los bajos niveles de concentración de CO₂ (promedio = 736 ± 111ppm) y la baja apertura de ventanas en invierno es claro indicio del mal estado de la envolvente en ambos edificios. Estos valores muestran el elevado nivel de renovación natural de aire por infiltraciones/baja estanqueidad de la fachada. El relevamiento permite ver que no existe disminución de la calidad del aire en relación a los valores exigidos por la norma de referencia y por el voto de calidad emitido por los usuarios en la encuesta, existe un elevado porcentaje de usuarios disconformes aún en presencia de valores admisibles.

En general se resuelve que, en ambos casos, el funcionamiento del edificio está al servicio del confort del usuario. No se prevé el

cuidado del uso de recursos energéticos con tal de dar respuesta a necesidades personales. De los edificios analizados, se observan mejores valores de consumo y demanda de energía en el edificio Central de la UNSJ (ECU), considerado con climatización total (MEC), por poseer un sistema centralizado para el tratamiento del aire de ventilación.

A diferencia de ello en el edificio MUN, con ventilación natural (NAT), la incorporación de equipamiento para el confort térmico no se ve ligada a una estrategia para el funcionamiento eficiente. El empleo indiscriminado de la “Estufa Eléctrica”, el elevado Factor de ocupación del espacio de trabajo (2,5m²/Persona), la extensa superficie destinada a Oficinas en el edificio (>60%), y la instalación de Splits frío/calor para el acondicionamiento de los espacios, se combinan en un resultado trágico para la eficiencia del edificio: Se supera el valor de la tarifa contratada al servicio de energía provocando multas sobre el consumo energético que paga el Estado Nacional a los entes de suministro de origen privados.

En una serie de recomendaciones, los potenciales de eficiencia se abordan mediante propuestas de solución que pretenden servir de guía a la búsqueda de un equilibrio entre cuidado de energía y calidad de vida de los usuarios. Según el estándar EnBop, el seguimiento del funcionamiento durante la vida útil del edificio conduciría a mejoras de hasta el 30% sobre la eficiencia energética. La posible intervención de las líneas de acción propuestas serán monitoreadas y los resultados expuestos en futuras publicaciones.

Agradecimientos

Se agradece al MINCyT (Ministerio de Ciencia y la Tecnología de la Nación Argentina), al CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Argentina) y la UNSJ (Universidad Nacional de San Juan), por el fomento a investigadores vinculados a este trabajo, desarrollado en el marco del Proyecto de Investigación PICT2009-0014.

Referencias Bibliográficas

ASHRAE 129 (1997) Measuring Air Change Effectiveness. American Society of Heating,

Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

ASHRAE 62 (2010) Ventilation for acceptable indoor air quality. Public review draft, American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers.

DIN EN 13779 (2007) Lüftung von Nichtwohngebäuden. Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlageanlagen.

EN ISO 10551 (2002) Ergonomie des Umgebungsklimas. Beurteilung des Einflusses des Umgebungsklima unter Anwendung subjektiver Bewertungsskalen.

EnBop (2008) Energie Betriebsoptimierung. <http://www.enob.info>

Gossauer, E.; Leonhart, R.; Wagner, A. (2006) A Survey on Workplace Occupant Satisfaction. A Study in Sixteen German Office Buildings. Proceedings of EPIC, Lyon Francia.

IRAM 11603 (1996) Acondicionamiento Térmico de Edificios. Clasificación Bioambiental de la República Argentina. Argentina.

ISSO-74 (2004) Thermische Behaaglijkheid, Publication 74, ISSO, Rotterdam, Holanda.

Kuchen, E. (2008) Spot monitoring zum thermischen Komfort in Bürogebäude. Tesis Doctoral. Universidad Técnica de Braunschweig, ISBN 978-3-89959-783-7, 203 Pag., Tönning, Alemania.

Kuchen, E.; Fisch, M. N.; Leão, M.; Toledo-Borges, E. (2009) Optimum Indoor Air-Quality defined by Measurements and Questionnaires in German Office Buildings. *Bauphysik* 31 (5), 313-318.

Kuchen, E.; Plesser, S.; Fisch, M.N. (2012) Eficiencia energética y confort en edificios de oficina. El caso alemán. *Revista Hábitat Sustentable* 2(2), 34-44.

Mølhav, L.; Clausen, G.; Berglund, B. (1997) Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigation. *Indoor Air*.

Mølhav L. (2003) Organic compounds as indicator of air pollution, *Indoor Air* 13(6), 12-19.

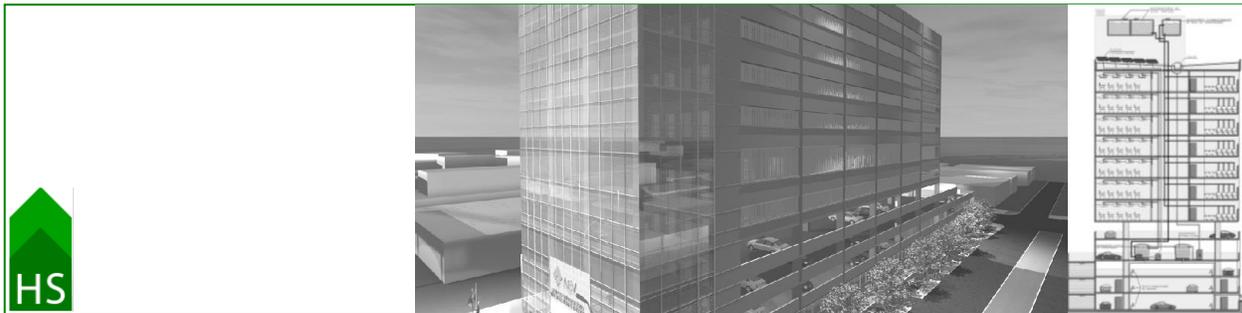
Wyon, D. (2001) Enhancing Productivity While Reducing Energy Use in Buildings, E-Vision 2000: Key Issues That Will Shape Our Energy Future - Summary of Proceedings. 233-253.

Zambrano, J.; Fumo, N. (2008) Valoración de la calidad del aire de la biblioteca UNET con base a niveles de CO₂. *Revista Ciencia e Ingeniería* 29(2), 207-212

Recibido: 10|10|2013
Aceptado: 26|11|2013

Uso de água residual do ar condicionado e de água pluvial como gestão da oferta em uma edificação comercial: estudo de caso

Using air-conditioning waste water and stormwater as supply management in a commercial building, case study



Celso Silva Bastos celsobastos10@gmail.com

Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Espírito Santo – Vitória, Brasil

João Luiz Calmon calmonbarcelona@gmail.com

Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Espírito Santo - Vitória, Brasil



RESUMO

Palavras-chave

Aproveitamento de água de chuva,
Construções verdes,
Sustentabilidade

O conceito do uso racional para a conservação de água consiste na gestão da demanda e da oferta de água, com ações voltadas para o fornecimento de fontes alternativas visando suprir o uso em áreas menos nobres por águas de qualidade inferior. Este trabalho tem por objetivo mostrar a aplicação de um sistema que aproveita a água drenada dos evaporadores de ar-condicionado e das águas pluviais como fontes alternativas. Verificou-se que cada evaporador produz 4,8 litros/água/hora, considerando 10 horas de uso diário, o volume acumulado chegaria a 48 litros/dia por aparelho que multiplicado pelo total de 137 unidades chega-se ao volume diário de 4.298 litros o que representa 77,72% da demanda das descargas sanitárias que é de 5.530 litros/dia. Em relação ao aproveitamento de águas pluviais, a previsão de acumulação refere-se a 10% da área do terreno que multiplicado pelo índice de 0,05 e pela retenção de 1 hora, obtém o volume de 14,8 m³. Pretende-se com essa prática, alcançar uma redução significativa do volume de água potável, hoje utilizada praticamente para a realização de todas as atividades, contribuindo assim para uma obra mais sustentável, minimizando os impactos ambientais causados pela construção.

ABSTRACT

Key Words

Utilization of rainwater,
Green buildings,
Sustainability

The concept of rational use as applied to water conservation consists in managing water supply and demand by trying to meet lesser quality water demands with alternative or reused water supply. This project attempts to demonstrate the application of a system that uses water drained from air conditioning system evaporators and rainwater as alternative sources. Given that each evaporator produces 4.80 liters of water per hour and considering the average use of an air conditioning system to be approximately 10 hours per day, the daily total of a single evaporator would be 48 liters. This would implicate a daily volume of 4,298 liters for the whole 137 units spread throughout the building, which in time would represent 77.72% of the daily demand of wastewater (5,53 liter/day). For the rainwater collection system, the total accumulated volume corresponds to 10% of the site area multiplied by a factor of 0.05, for a retention time of 1 hour, which will produce a total volume 14.8m³ of water. This system's primary objective is to significantly reduce the consumption of potable water, which nowadays is used for every single activity, thus contributing to a more sustainable building and minimizing the environmental impact caused by the construction.

1. Introdução

Um número crescente de países está enfrentando o aumento na escassez de água devido a uma maior demanda de água tratada e uma falha em proteger os recursos disponíveis da poluição. A água é um bem precioso e escasso que deve ser bem gerida e efetivamente utilizada (Rezaee, 1998).

A Gestão de recursos hídricos é um dos maiores desafios do presente século. Com o aumento da população, aumenta o consumo de per capita, e o abastecimento de água atual diminui, os recursos hídricos estão cada vez mais críticos a nível mundial. A maioria das áreas urbanas enfrenta escolhas difíceis e caras soluções para atender a demanda existente e futura (Donofrio et al., 2009).

Na indústria da construção civil, em especial, na fase de operação dos edifícios, a água é responsável por significativa parcela do impacto sobre o meio ambiente. As perdas de água nos sistemas prediais, devido à má qualidade de materiais, de componentes e de procedimentos relacionados ao uso da água inadequados, resultam em maiores volumes de consumo e de insumos necessários para o tratamento de água e de esgoto, além da degradação ambiental para a produção desses insumos (Oliveira et al., 2007).

Um dos principais princípios de desenvolvimento sustentável de aplicação global citado na Declaração do Rio, conhecida como Agenda 21 lançada na Rio-92, cita que devido ao aumento do consumo e sua grande escassez em algumas regiões, a água passou a ser considerado como um bem econômico e uma questão-chave relacionada com o clima mais quente, assim como o aumento da população e da poluição (Roaf, et al., 2009).

O tema reuso de água desencadeou diversos trabalhos e pesquisas, principalmente em países com maior escassez desse líquido. Na maioria dos casos, o reaproveitamento se dá nas indústrias (Hespanhol, 2005) e na agricultura recebendo um tratamento diferenciado dependendo do fim que se destina. O mercado da construção civil já deu sinais atrativos nesse seguimento evidenciando as vantagens de se construir de forma a obter redução de consumo e o engajamento na indústria verde (Hespanhol, 2005).

Dentro deste contexto, este trabalho objetiva colaborar com a redução do consumo de água potável e demonstrar a viabilidade no aproveitamento de água drenada da condensação dos evaporadores de ar condicionado para o uso nas descargas sanitárias numa edificação com atividade comercial ou institucional, trazendo com isso grande economia de água.

2. Objetivos e Justificativas

O objetivo deste trabalho é demonstrar a viabilidade técnica no aproveitamento de água residual de condensação do sistema de ar condicionado de um prédio para utilizá-la nas descargas sanitárias. Como estudo de caso, os autores basearam-se em uma edificação em construção que terá como atividade única o funcionamento de uma instituição de ensino superior. Esse tipo de atividade é tratado na cidade de Vitória, ES - Brasil onde está sendo construída, como de uso comercial, pois não existem normas diferenciadas para instituições de ensino superiores, ficando apenas as creches e escolas primárias vinculadas às normas específicas na área de educação (Vitória, 1997).

A idéia em aplicar essa inovação tecnológica partiu do momento da compatibilização dos projetos complementares com o arquitetônico e ao se verificar o volume de água produzido pelos evaporadores, a drenagem necessária para cada aparelho e a falta de aproveitamento dessa água em quaisquer outras partes da edificação. Pesquisas de modelos existentes com a mesma finalidade proposta pouco foram encontradas na revisão bibliográfica, abrindo aqui uma oportunidade que justifica o estudo num momento em que vivemos sérios problemas de abastecimento, consumo crescente, e grandes desperdícios de água potável.

Diante do problema os autores esperam contribuir com uma proposta que poderá servir de referência e motivação para futuros trabalhos baseadas nos resultados previstos. Essa iniciativa servirá como um importante princípio para construções que visam uma redução dos impactos ambientais e maiores desempenhos. O procedimento poderá ser aprimorado e num futuro próximo, receber incentivos para aplicações voluntárias e normatizadas.

3. Concepção do Sistema de Aproveitamento de Água

O empreendimento base desse estudo trata-se de uma edificação em construção na cidade de Vitória, ES Brasil constituída de 12 pavimentos sendo 5 níveis de garagens para carros e motos e 7 níveis ocupados por salas, sanitários e apoio. Figura 1 apresenta a imagem digital do empreendimento citado.



Figura 1: Imagem digital da construção. Fonte: NB Projetos Ltda.

Figure 1: Digital image of the building. Source: NB Projetos Ltda.

Todos os projetos sofreram interferências e adaptações para a implantação do sistema proposto nesse estudo. Foram verificadas a partir do projeto arquitetônico as necessidades relativas às alterações pretendidas, uma vez que o projeto inicial não ter sido concebido com esses princípios.

Optou-se por unidades evaporadoras tipo cassete 4 vias de dimensionamentos variáveis instalados no forro rebaixado de cada ambiente e dimensionados para atender ao conforto térmico, conforme especificações do fabricante, alcançando um melhor desempenho dos equipamentos e melhoria na qualidade interna do ar. Uma nova planta de rebaixamento de teto foi elaborada para receber os evaporadores em sua modulação de forma a não interferir nas luminárias e outras instalações.

Ficou destinado um local em um dos pavimentos de garagem para as instalações do sistema proposto sem prejudicar o

estacionamento de veículos. O reservatório superior localizado na cobertura do prédio, antes bipartido, foi modificado passando a ter 3 partes sendo uma exclusiva para armazenamento da água drenada da condensação, que não poderá ser armazenada junto com a água tratada. Esse reservatório será interligado à saída dos outros reservatórios para que o abastecimento dos sanitários não seja prejudicado, caso haja uma demanda maior que a capacidade prevista. Não está considerada nesse trabalho a análise laboratorial da água captada dos evaporadores, uma vez que a mesma ficará separada da água tratada e usada exclusivamente para descargas sanitárias não havendo nenhum tipo de consumo para outros fins.

No projeto hidro-sanitário ficou definido o percurso e o dimensionamento da tubulação de drenagem dos evaporadores, desde a saída do aparelho até o reservatório para armazenamento da água captada, passando pela interligação com os equipamentos que a bombeará até o reservatório superior e ao atendimento às descargas sanitárias em todos os banheiros dos pavimentos acima das garagens.

A cidade de Vitória fica localizada em uma ilha e oferece condições climáticas favoráveis com clima tropical chuvoso, sem estação fria, estação de seca no inverno e temperatura média de 23,5° C. Essas características favorecem o uso de energia solar, limpa, renovável e sustentável e essa foi a opção escolhida para alimentar as bombas de recalque que abastecerão o reservatório superior e deixarão o sistema auto-suficiente e independente. Geradores de energia solar fotovoltaica poderão garantir a energia necessária para funcionamento do conjunto provenientes do módulo solar, mesmo em dias nublados e sem uso de baterias. Para garantir o fornecimento de energia, caso aconteça algum problema no sistema solar, o mesmo estará ligado à energia da concessionária.

O foco desse trabalho é mostrar a viabilidade do aproveitamento das águas residuais de condensação dos evaporadores dos aparelhos de ar condicionados. No entanto, é importante citar que está previsto em projeto o aproveitamento das águas de chuvas e reutilizadas nos pavimentos abaixo para lavagem das garagens e rega dos jardins, a cidade tem precipitação média anual de 1.292,2 mm. A água que extravasar tanto do sistema de ar

condicionado quanto de chuva será utilizada em serviços gerais de limpeza.

4. Dimensionamento do Sistema (Aplicação Prática)

Parte do ar respirado é composto por vapor de água diluído. Para que o vapor volte ao estado líquido, a temperatura da superfície tem que estar abaixo da temperatura de ponto de orvalho, que é temperatura ao qual o vapor de água presente no ar ambiente passa ao estado líquido na forma de pequenas gotas (condensação).

Para efeito prático nas condições da cidade de Vitória, ES, esta temperatura fica abaixo de 17°C, mesmo em ambientes com condicionamento de ar para fins de conforto. No sistema de ar condicionado existem dois elementos principais: uma unidade interna e outra externa. A temperatura da serpentina por onde passa o ar na unidade interna fica abaixo de 12°C, fazendo com que parte do vapor contido no ar volte ao estado líquido. Considerando que para transformar ar úmido em 1 Kg de água o Calor Latente de vaporização é de 538 Kcal/Kg, alterando assim o seu estado físico de vapor para líquido. Apenas 30% do ar que circula na serpentina entram em contato com a superfície da mesma. Normalmente a capacidade das máquinas de ar condicionado é de 30% a 70% de remoção de Calor Sensível e de 30% a 70% de remoção de Calor Latente (Figura 2).

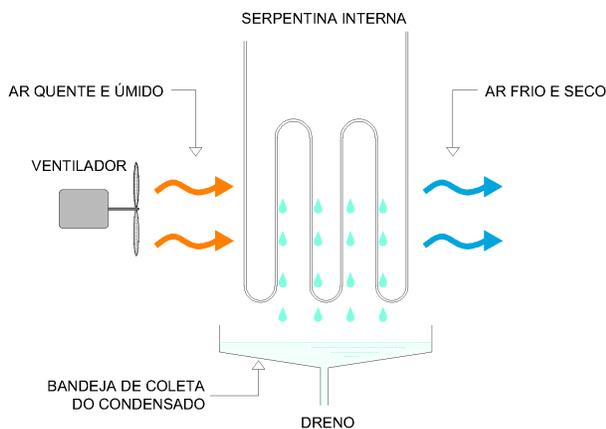


Figura 2: Diagrama do sistema de condensação de água na serpentina.

Figure 2: Diagram of the water condensation system.

A água recuperada pelo sistema depende da ocupação humana e da psicometria externa. O

ambiente interno tem suas condições climáticas controladas artificialmente. O corpo humano reage metabolicamente de maneira similar a estas condições em qualquer região, liberando vapor, quando exercendo a mesma atividade. O ar externo tem condições psicométricas que variam de acordo com o local onde a edificação se encontra. Antes de o ar ser injetado no ambiente ele passa por um processo de filtragem e refrigeração, para que sua temperatura de bulbo seco do ar insuflado não ultrapasse a temperatura de bulbo seco interna.

Neste processo há geração de condensado (água), sendo que esta quantidade de água gerada depende diretamente das condições psicométricas externas. Quanto maior for a umidade externa, mais quantidade de água de condensação será gerada.

A Tabela 1 mostra o volume de água produzido por pavimento através da drenagem dos 137 evaporadores distribuídos no prédio com diferentes capacidades de refrigeração em BTU's, produzindo um volume total de 4.298,1 litros por dia de funcionamento. Essa água será captada e armazenada num reservatório destinado a este propósito, bombeada para o reservatório superior para em seguida ser utilizada nas descargas sanitárias.

A geração total de água produzida pelos evaporadores será de 4.298,1 litros conforme demonstrado na tabela 01. Para o projeto hidro-sanitário convencional foi considerado a instalação de uma Bomba de Recalque de 5 CV com vazão de 16,60m³/h a uma altura manométrica de 50mca. A capacidade do reservatório superior será de 8,86m² x 0,63m = 5,53m³. A bomba de recalque deverá ser acionada quando o Nível da Água (N.A) baixar 0,63m isso caso o sistema de energia solar não estiver operando no momento por motivos de manutenção ou problema de funcionamento. Se a bomba hidráulica do sistema convencional lança 16,60m³/h, a mesma lançará 4.298,1 litros em 15 minutos.

Considerando uma população de 820 pessoas sendo 720 alunos, 60 professores e 40 funcionários e estimando 100% de consumo diário por pessoa o gasto em litros para descarga nos sanitários será de 9 litros. Calcula-se o consumo diário para utilização de 75% da população. Se o consumo diário em 100% de utilização representam 820 x 9 = 7.380 litros o

Tabela 1: Quadro com os equipamentos utilizados suas respectivas capacidades e capacidade de retirada de água do ar.
Table 1: Equipment used, with respective capacities and capacity of water removal from air.

Pavimento	Capacidade Total (Btu/H)	Capacidade de Retirada De Calor Latente (Btu/H)	Funcionamento Dia (Horas)	Condensado (Água) (L/H)	Condensado (Água) (L/Dia)
PAV 05	646900	419045	12	58,9	706,8
PAV 06	673600	437840	9	61,5	553,5
PAV 07	735600	478140	9	67,2	604,8
PAV 08	735600	478140	9	67,2	604,8
PAV 09	516100	335465	12	47,1	565,2
PAV 09 (Auditório)	229200	148980	6	20,9	125,4
PAV 10	735600	478140	9	67,2	604,8
PAV 11	648400	421460	9	59,2	532,8
TOTAL/DIA					4298,1

Tabela 2: Resultado final.
Table 2: Final results.

População Diária (pessoas)	Consumo Diário para demanda sanitária (litros)	Volume de água drenada e armazenada (litros)	Economia prevista com consumo de água (%)
820	5.530	4.298,1	77,72

Tabela 3: Resultado financeiro.
Table 3: Financial results.

Custo total do sistema instalado	Água mensal captada e o valor economizado	Água anual captada e o valor economizado	Tempo de retorno do investimento
R\$ 23.700,00	128.943 litros R\$ 451,30	1.547.316 litros R\$ 5.415,60	4,37 anos

consumo diário estimado com 75% de pessoas será de 5.530 litros. O reservatório de água proveniente dos aparelhos de ar condicionado terá capacidade de 7.500 litros.

Conclusão dos resultados conforme Tabela 2 demonstra que o sistema alcança um considerável fator de economia de água superando os índices previstos em metodologias existentes para uma obra mais sustentável.

Como alternativa paralela ao sistema convencional e mantendo o conceito de utilização de energia limpa e renovável, a instalação de bombeamento solar consiste em transformar energia elétrica contínua gerada por módulos solares em corrente alternada com a maior eficiência possível. Serão necessárias três bombas submersas, alimentadas por dois módulos fotovoltaicos cada, sendo um total de seis módulos, conforme especificação do fabricante, que garante a alimentação do sistema.

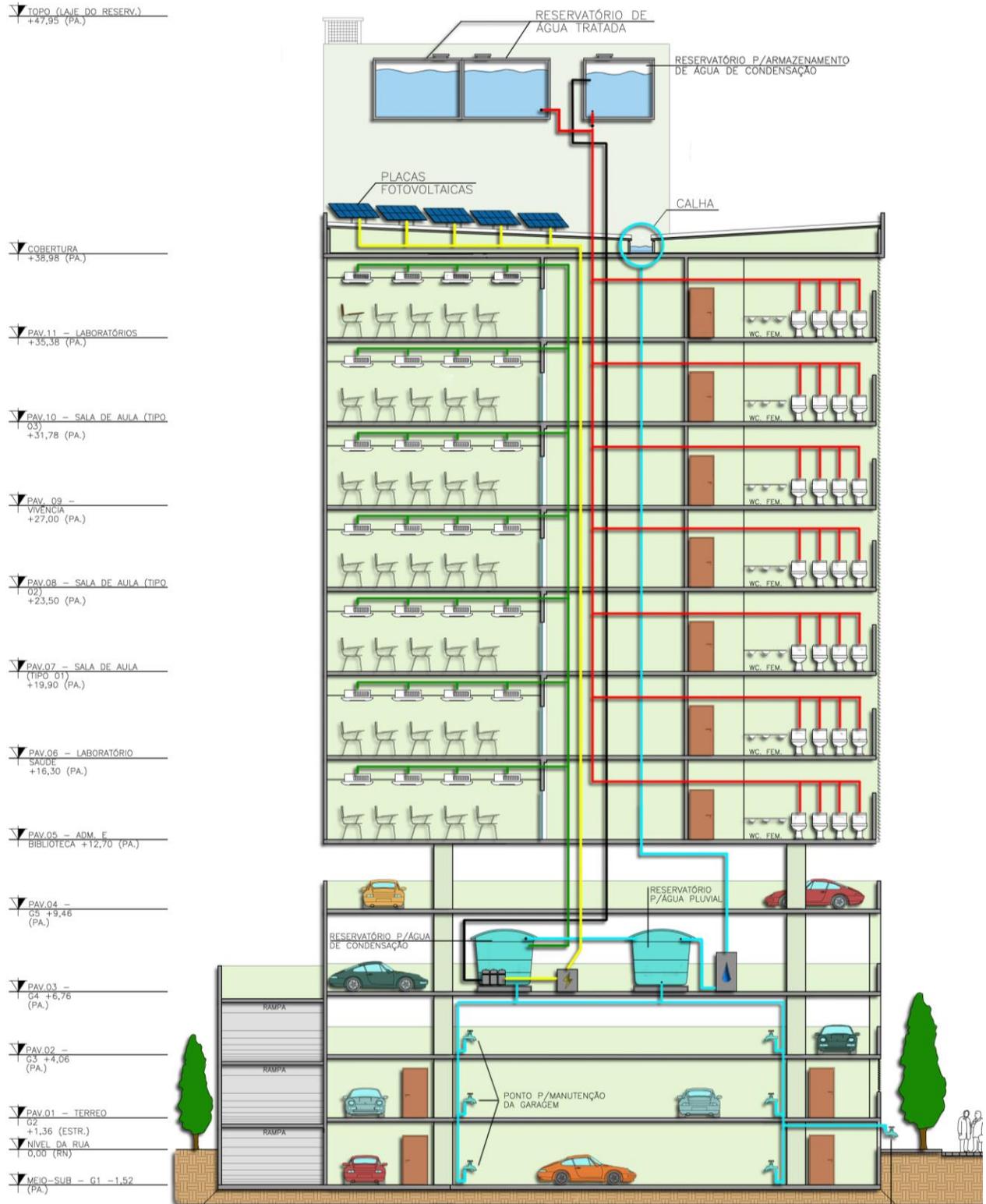


Figura 3: Esquema geral do sistema.
Figure 3: General diagram of the system.

Como alternativa paralela ao sistema convencional e mantendo o conceito de utilização de energia limpa e renovável, a instalação de bombeamento solar consiste em transformar energia elétrica contínua gerada por módulos solares em corrente alternada com a maior eficiência possível. Serão necessárias três bombas submersas, alimentadas por dois módulos fotovoltaicos cada, sendo um total de seis módulos, conforme especificação do fabricante, que garante a alimentação do sistema.

O sistema funciona de forma independente das flutuações dos níveis de irradiação solar, ou seja, sempre haverá bombeamento de água a qualquer hora do dia ou condições do tempo, desde que os módulos forneçam corrente mínima de 0,1 ampér. Um equipamento funcionará com um comando que será o responsável por converter a energia fornecida pelos módulos solares em impulsos de energia constantes e espaçada em função do nível de irradiação solar. O sistema elimina o uso de baterias, o que reduz a necessidade de manutenção.

Baseado em dados do projeto a altura manométrica da tubulação é de 42 metros, sendo uma vazão diária de 4.298,1 litros será necessária a instalação de 3 bombas tipo shurflo 9300 submersa no tanque de acumulação de água de condensação com 6 módulos solares de 115 Wp sendo 2 para cada bomba e instalados na cobertura do edifício, conforme especificação do fabricante.

Para uma vazão prevista de bombeamento de 375l/h e com 3 bombas de funcionamento contínuo e simultâneo, a vazão total será de 1.125l/h. Sendo o volume captado a ser bombeado de 4.298,1 litros, o tempo total para levar essa água ao reservatório superior será de aproximadamente 4h e 22m o que comparados ao sistema convencional, que são de 15 minutos, há uma desvantagem relativa nesse sentido, mas em compensação não haverá uso de energia da concessionária e o sistema fechará seu ciclo de atendimento autossuficiente. O Tabela 3, mostra o resultado do retorno financeiro do sistema

5. Conclusões

O presente estudo demonstra que é viável a utilização de água drenada pelo sistema de ar condicionado, principalmente em edificações comerciais com vários equipamentos instalados.

Toda essa água atualmente é descartada e nem por gravidade esta sendo aproveitada para lavagem e manutenção das calçadas e jardins. O demanda de água calculada para uso nas descargas sanitárias está bem próxima do volume de água captado pelo sistema de drenagem dos evaporadores, representando 77,72% do consumo calculado. Isto representa um resultado econômico significativo na operação do edifício e um grande avanço nas questões ambientais referentes ao aproveitamento de água potável.

Comparado ao aproveitamento de águas pluviais o sistema apresenta vantagens na questão de reuso de água, pois o prédio estará em operação e produzindo água de condensação todos os dias do ano em horário comercial, enquanto que a água da chuva é periódica sem funcionamento constante causando danos nas tubulações e bombas devido ao ressecamento proveniente da falta de uso.

Desta forma podemos concluir que se existe vazão suficiente para aproveitamento de uma água que esta sendo gerada indiretamente através do funcionamento diário do edifício e se existe demanda para consumo dessa água é inegável a importância e o incentivo a esse aproveitamento num momento onde toda colaboração para a redução dos impactos ambientais causados pelas construções passaram a ter grande importância no cenário mundial cabendo a todos profissionais e empreendedores ligados a construção civil a iniciativa com práticas, exemplos e principalmente no desenvolvimento e aprimoramento de novas técnicas.

Agradecimentos

A Universidade Federal do Espírito Santo, pela qualidade do ensino oferecido e o nível profissional do corpo docente a qual tive a oportunidade de estudar e conviver durante os anos do mestrado.

Referências Bibliográficas

- Araújo, L. S. (2009). Desempenho ambiental em unidades municipais de saúde na cidade de Vitória: ensaio projetual e recomendações para certificação LEED-NC 2.2. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória.
- Costa, D. M. A.; Barros Junior, A. C. (2005) Avaliação da Necessidade do Reuso de Águas Residuais. *Holos*, 21 (2), 81-101.
- Donofrio, J.; Kuhn, Y.; McWalter, K.; Winsor, M. (2009). Water-Sensitive Urban Design: An Emerging Model in Sustainable Design and Comprehensive Water-Cycle Management. *Environmental Practice*, 11(03), 179-189.

Hespanhol, I. et al. (2003) Manual de Conservação e Reúso de Água Para a Indústria. Centro Internacional de Referência em Reúso de Água. São Paulo: Fiesp/Ciesp.

Hespanhol, I.; et al. (2005) Conservação e Reúso da Água em Edificações. Centro Internacional de Referência em Reuso de Água. São Paulo: Fiesp/Ciesp.

Institui o Código Sanitário do Município de Vitória. (1997) Lei nº 4424 de 10 de abril de 1997. Normas de ordem pública e interesse social para a proteção, defesa, promoção, prevenção e recuperação da saúde. Vitória, ES. Recuperado em 14 de julho de 2013 no site eletrônico da Prefeitura.

Mudanças Climáticas. Relatório Brundland e a Sustentabilidade. Revisado em 20 de dezembro de 2011
<http://www.mudancasclimaticas.andi.org.br/node/91>

Oliveira, L. H.; Ilha, M.; Reis, R. P. A. (2007) Levantamento do Estado da Arte: Água. Documento 2.1. Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável. Projeto Finep 2386/04. São Paulo.

Roaf, S. et al. (2009) A adaptação de Edificações e Cidades às Mudanças Climáticas. Porto Alegre: Brookman.

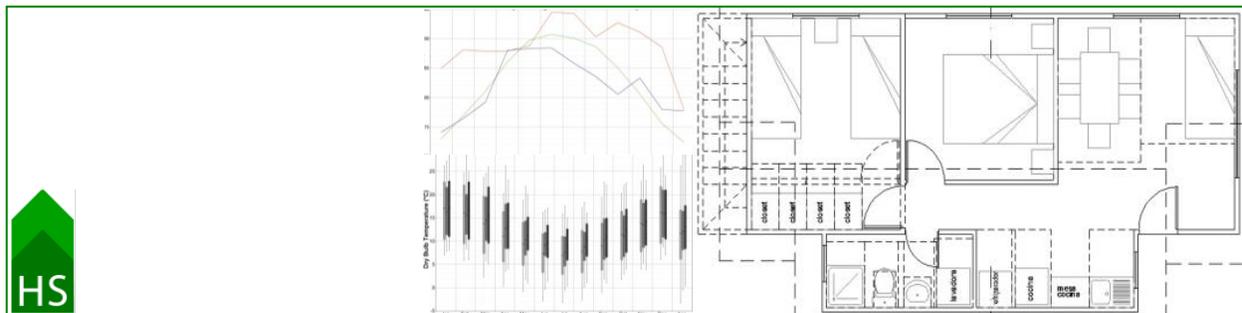
Rezaee, Z. (1998), Economics of Water Resources: From Regulation to Privatization Nicolas Spulber and Asghar Sabbaghi kluwer academic publishers. Water resource management, 2nd ed., 342 pp.

Silva, V.G.; Pardini, A. F. (2010) Contribuição ao entendimento da aplicação da certificação LEEDTM no Brasil com base em dois estudos de caso. Ambiente Construído, 10 (03), 81-97.

Recibido: 23|08|2013
Aceptado: 13|11|2013

Función e impacto del archivo climático sobre las simulaciones de demanda energética

Function and impact of weather files on energy demand simulations



Alex González Cáceres alex.gonzalez.caceres@gmail.com

Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción –
Universidad del Bío – Bío – Concepción, Chile

Muriel Díaz Cisternas madiazc@ubiobio.cl

Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción –
Universidad del Bío – Bío – Concepción, Chile



RESUMEN

Palabras clave

Simulación energética,
Datos climáticos,
Bases meteorológicas.

Actualmente se han desarrollado distintos tipos de archivos climáticos para su uso en simulaciones energéticas, cuyo origen depende principalmente de las estaciones meteorológicas, variables ambientales, algoritmos de interpolación y periodos considerados. En atención a esta diversidad cabe preguntarse cuáles son los más apropiados para su utilización en estudios de esta naturaleza para viviendas en Chile, y en particular, para la ciudad de Concepción. Se presenta un análisis comparativo, desarrollado en el contexto del proyecto Fondef D10I1025¹, entre tres fuentes de archivos climáticos para Concepción, el primero obtenido a través de la página web de EERE, (U.S. DOE Energy Efficiency and Renewable Energy), el segundo desarrollado por Meteonorm y el último generado a través de los datos proporcionados por un centro de observación geodésica ubicado en Concepción (TIGO). Se puede observar que el origen y método de obtención de datos para la ciudad de Concepción en Chile puede generar diferencias en la demanda de un 24,8%, que en este caso corresponde a 41,34 kWh/m².

ABSTRACT

Key Words

Energy simulation,
Climate data,
Weather files

Different types of weather files have been developed to be used in energy simulations. Their origin largely depends on weather stations, environmental variables, interpolation algorithms, and the time periods under consideration. Due to this diversity, the question arises as to which are the most suitable for use in housing studies in Chile, particularly in Concepción city. As part of the Fondef project D10I1025¹, a comparative analysis is presented of three sources of climate records for Concepción. The first was obtained through the EERE website (U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy). The second was developed using the software Meteonorm, and the last was generated from the information provided by a geodetic observation center (Transportable Integrated Geodetic Observatory or TIGO) located in Concepción. The research showed that differences in the source and method of obtainment of weather data for Concepción, Chile can cause a difference in energy demand of 24,8%, which in this case corresponds to 41,34 kWh/m².

1. Introducción

En el desarrollo del proyecto Fondef D10 I 1025 "Establecimiento de clases de infiltración aceptables de edificios para Chile" se pudo identificar las discordancias que existen entre las distintas fuentes de información meteorológica disponibles en el país, tema que se reconoce central para la determinación de recomendaciones respecto del diseño de viviendas. En inicio del proyecto se analizaron datos desde el punto de vista de las infiltraciones, considerando diferencias en velocidades de viento y temperatura, al avanzar la investigación fue necesario evaluar la incidencia de los datos climáticos disponibles en simulaciones energéticas dinámicas de viviendas, las que se utilizarán para la definición de las clases de infiltración aceptables para el país, producto resultado que se entiende como el más relevante del proyecto. Se presenta en este artículo un análisis detallado de las implicancias que tiene la elección de una fuente de información meteorológica en los resultados de demanda energética de una vivienda como caso representativo.

1.1 Función e impacto del archivo climático sobre las simulaciones

Las estimaciones de las demandas de energía y su impacto en el medio ambiente interior, están determinadas por una serie de factores, los cuales actúan de distinta manera, impactando en la transferencia de energía y masa. Las tres principales fuentes pueden ser identificadas como:

- Ambiente exterior o clima (si nos referimos a construcciones, las principales variables que lo afectan son: temperatura del aire, temperatura del cielo radiante, humedad, radiación solar, velocidad del viento y dirección del viento).
- Los ocupantes causan ganancias ocasionales de calor por su metabolismo, el uso de electrodomésticos o aparatos de oficina, iluminación, etc.
- Sistema auxiliar que cumplen las funciones de calefacción, refrigeración y/o ventilación (Hensen, 1999).

El *modus operandi* más común en la realización de simulaciones es poner a prueba las posibles alternativas de diseño con los datos climáticos de corto período considerando la representación de las condiciones extremas o típicas (calor, frío y moderada), usualmente durante la etapa de diseño en un régimen de periodo corto. Las alternativas favorecidas son seleccionadas para ser sometidas a un régimen de simulación a largo plazo, por lo general anual, para determinar las tendencias de consumo de energía. En algunos casos se utilizan patrones atípicos del clima para probar la respuesta de algunos componentes bajo cargas extremas (HVAC). La selección de las series de tiempo climáticas, para proporcionar condiciones apropiadas para la simulación, requiere de un gran cuidado, es por ello que lo fundamental es la tipicidad de la colección de datos en relación con el clima que define el sitio en estudio. Por lo general se deben cumplir dos condiciones fundamentales:

- Los datos deben representar las condiciones climáticas durante el periodo en que se desea analizar (diseño de invierno, verano, media a largo plazo, y así sucesivamente).
- Los datos deben tener alguna medida de la severidad cuantificable que establezca su idoneidad para la selección.

2. Tipos de archivos climáticos

La selección de los archivos climáticos tiene directa relación con el tipo de análisis que se desea realizar, es por ello que antes de iniciar cualquier simulación hay que tener en cuenta qué parámetros se están estudiando y luego elegir el tipo de archivo climático, (ASHRAE, 1991). En el análisis de comportamiento para un año específico, el archivo climático que se debe utilizar sería el del año en que se está realizando la investigación. Para estudios comparativos del comportamiento energético a largo tiempo, el tipo de archivo más común es el del año típico (año promedio representativo de las condiciones climáticas).

Los archivos climáticos se han agrupado en tres categorías (Keeble, 1990):

- *Datos pluri-anual:* Archivo que contiene múltiples años de información.

- *Año típico:* Un año típico de referencia es un archivo compuesto por datos horarios seleccionados para representar los patrones climáticos que se encuentran en una base de datos que incluye varios años. Para que un archivo se considere como año típico depende si la base de datos de múltiples años, cumple con un conjunto de pruebas estadísticas.

- *Día representativo:* Son datos horarios de algunos días promedio desarrollados para representar las condiciones climáticas típicas. Los días representativos se utilizan para el análisis económico a pequeña escala y a menudo se encuentran en herramientas simples de simulación y diseño.

3. Formatos de archivos climáticos (año típico)

3.1 TMY

TMY es un acrónimo para typical meteorological year o año meteorológico típico, es un modelo desarrollado por Sandia National Laboratory y es uno de los métodos más aceptados para determinar un año típico. TMY (año típico) consiste en doce meses seleccionados a partir de una base de datos pluri-anual, donde cada mes tiene 5 candidatos para su elección, dicha elección se basa en un método estadístico llamado Finkeilstein Schafer (Lam, 1996). Los datos que incluye este formato son set de datos de valores horarios de radiación solar y elementos meteorológicos para un periodo de un año.

TMY2 es una actualización de los datos utilizados para el formato TMY, el cual considera los años 1952 y 1975, mientras que el TMY2 utiliza archivos desde 1961 y 1990, el método de cálculo es prácticamente el mismo (NREL, 3013).

Para TMY3 se renovaron los datos (1991-2005) y se modificó el método de cálculo de los TMM (typical medial month), a través de una variación de la metodología inicial, los cambios efectuados tienen relación con la modificación de algunas variables como la radiación directa y la temperatura de bulbo seco (Marion, 2008).

3.2 IWECC

Acrónimo para International Weather for Energy Calculation, es el resultado del proyecto de investigación ASHRAE 1015. Los archivos derivan de 18 años de datos meteorológicos por hora, los cuales fueron originalmente archivados en el Centro Nacional de Datos Climáticos (DATSAV3). (US Energy Department, 2011).

3.3 TRY

TRY (Test Reference Year), los datos de TRY son de una base real histórica de las condiciones meteorológicas, seleccionadas mediante un proceso en el que los años del período de registro contienen meses con temperaturas medias, muy altas o bajas, las cuales son eliminadas progresivamente hasta que sólo queda un año, dejando sólo datos de la temperatura media (Crawley, 1997).

4. Fuentes de archivos climáticos

Existen diferentes bases de datos meteorológicos, sugeridas por el departamento de energía de Estados Unidos que utilizan el formato que requieren los software de simulación energética, pero no todas tienen la información necesaria para poder ser aplicadas en Chile, a continuación se presentan las alternativas existentes para obtener archivos climático de Concepción.

4.1 Weather Analytics

Capaz de crear archivos climáticos en formato EnergyPlus a partir de los últimos 30 años de datos horarios de cualquier estación meteorológica oficial sobre más de 600.000 estaciones en una cuadrícula de 35 km en todo el mundo. Estos archivos se crean mediante la integración de las observaciones de la estación meteorológica cada hora y los nuevos conjuntos de datos de reanálisis del NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Capaz de crear tanto los TMY y los archivos individuales reales de un año meteorológico (AMY). Costo \$75 USD para un archivo TMY, basado en un registro de 30 años (Analyticsweather, 2013).

4.2 EERE

El departamento de energía de US cuenta con 5 archivos climáticos de Chile, incluyendo Concepción, generados por la ASHRAE en formato IVEC y son gratuitos para su descarga (US Energy Department, 2011).

4.3 Meteonorm

Meteonorm es una base de datos inusual en comparación con las otras bases de datos anteriormente mencionadas, fue producido por METEOTEST, una empresa privada a diferencia de las mencionadas anteriormente que pertenecen comúnmente a agencias gubernamentales, instituciones educativas o instituciones sin fines de lucro (Meteonorm, 2010). Como tal, Meteonorm está diseñado con mejores propiedades en comparación con otras bases de datos mencionadas. A pesar de que es una estación con bases en tierra, emplea un método de interpolación espacial para generar la base de datos de cobertura más grande del mundo. El programa crea datos horarios a partir de datos estadísticos de una ubicación que cuenta con una estación meteorológica. Cuando los datos estadísticos no están disponibles, Meteonorm interpola la información de otros lugares cercanos. En general, un enfoque estadístico es el último recurso ya que los archivos climáticos generados a partir de estadísticas no demuestran fehacientemente los cambios hora a hora y la variabilidad del día a día que se ven en los datos medidos (Energyplus, 2008.).

Meteonorm toma una parte significativa de los datos regionales y nacionales meteorológicos y compila en una sola base de datos elaborada de todo el mundo. Los parámetros meteorológicos incluidos son también muy completos, por lo que está a la par con TMY, IVEC, y la NASA SSE.

Un inconveniente es que reciben datos de todo el mundo, lo que implica que viene con diferentes supuestos y metodologías.

5. Comparación (IVEC, METEONORM, TIGO)

5.1 Archivo IVEC de Concepción

El archivo climático fue obtenido desde la página de EERE, donde se explica que el

archivo proviene de la ASHRAE en formato EPW, (EnergyPlus weather files).

EERE es una de las bases de datos más solicitadas, ya que su librería de climas está incluida en una gran cantidad de herramientas de simulación ambiental, entre ellos Designbuilder, IES-ve, Greenbuilding, Beopt, Heed, Aeco Simulator, Energyplus, Greenspace y Designadvisor entre otros.

El archivo de Concepción cuenta con una base de datos desde 1982 a 1999, la información que entrega es bastante detallada en casi todos los factores climáticos que presenta.

A través de las entrevistas realizadas a oficinas de arquitectura con orientación en la eficiencia energética se pudo establecer que es una fuente poco utilizada en Chile, ya que la mayoría presentó desconocimiento de la base de datos de la EERE y de las que lo conocían sólo una oficina la utilizaba.

5.2 Archivo de Concepción generado en Meteonorm

El software METEONORM fue desarrollado por Jan Remund y Stefan Kunz de Meteotest - Suiza – quienes contaron con financiamiento parcial de la Oficina Federal de Energía de Suiza.- La versión actualmente disponible es la 7.0 y está vigente desde fines de 1997 (Rapallini, s.f.).

Para crear el archivo se utilizó Meteonorm 5.1, una versión antigua, que se encuentra descontinuada, que data del año 2004.

Al estudiar los datos del archivo climático creado no es posible establecer cuáles son los años que fueron utilizados para la creación de dicho archivo, a pesar de que Meteonorm no debiera extrapolar los datos ya que se solicitaron desde una estación meteorológica. La información contenida en el archivo en muchos factores tiende a disminuir la cantidad de valores posibles (como es en el caso de la dirección del viento) o a establecer un valor fijo (como es la presión atmosférica y de las iluminancias directas y difusas).

En las entrevistas realizadas se pudo concluir que el Meteonorm es la fuente más utilizada por especialistas en Chile.

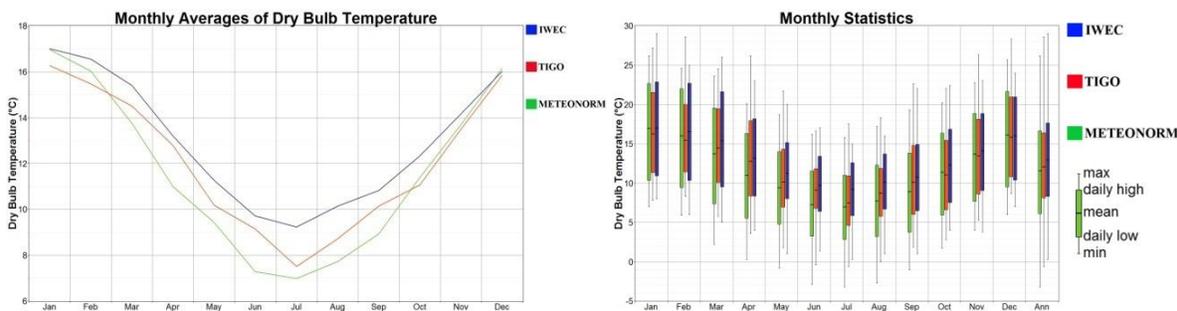


Figura 1: (Izq.) Temperatura promedio mensual para la ciudad de Concepción. (Der) Dispersión de datos de temperatura de bulbo seco para la ciudad de Concepción.
Figure 1: (L) Average monthly temperature of Concepción, Chile. (R) Box-plot graph of dry bulb temperature in Concepción, Chile.

5.3 Archivo climático a partir de datos obtenidos del Observatorio Geodésico TIGO

Es el acrónimo de Observatorio Geodésico Integrado Transportable, una estación fundamental transportable de geodesia, una idea del Grupo de Investigación Alemán para Geodesia Satelital (Forschungsgruppe Satellitengeodäsie (FGS)), la cual fue llevada a la práctica por la Oficina Federal para Cartografía y Geodesia (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)), desde la firma del convenio para la colaboración en la operación de TIGO en Concepción (TIGO, 2010).

TIGO cuenta con una página web en la cual se puede acceder a datos climáticos históricos de Concepción, desde el 2001 (por minuto, horarios, mensuales y anuales).

Hasta el momento se desconoce si se ha realizado un archivo climático con estos datos para ser utilizados en software de simulaciones de comportamiento termoenergético.

6. Resultados de la comparación

Como se muestra en la figura 1 los datos de temperatura de TIGO resultan ser, en la mayor parte del año, una muestra intermedia entre IWEC y Meteonorm. La desviación de temperatura anual entre TIGO y Meteonorm es de un 3,47°C, entre TIGO e IWEC es de un 4,9°C.

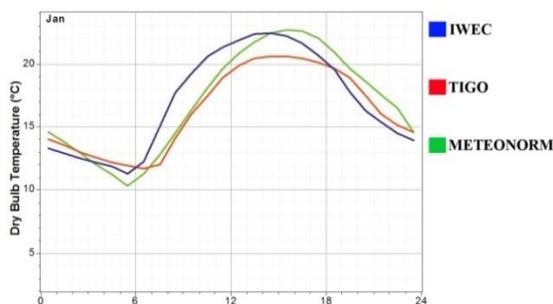


Figura 2: Promedio de temperatura horaria para el mes de enero.
Figure 2: Average hourly temperature in January.

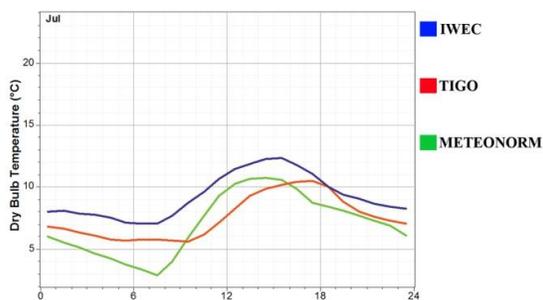


Figura 3: Promedio de temperatura horaria para el mes de julio.
Figure 3: Average hourly temperature in January.

Según las comparaciones de temperatura promedio mensual de enero y julio (Figuras. 2 y 3) se observa que existe una discrepancia importante con los datos de TIGO, en el caso de enero tanto Meteonorm como el archivo IWEC presentaron variaciones similares, en cambio para el caso de julio Meteonorm presenta mayores temperaturas, mientras que

IWEC en sus datos de temperaturas mínimas arrojó datos más extremos que los obtenidos con TIGO.

En el caso de la humedad relativa los datos de Meteonorm e IWEC tienden a presentar una curvatura similar sugiriendo que en los meses de calor la humedad relativa el 80%, mientras que TIGO no baja de ese valor (Figura 4).

Este factor es un valor sensible en las simulaciones, y es uno de los que mayor discrepancias presenta entre las diferentes fuentes, en el caso de TIGO no supera 1 m/s como promedio mensual, mientras que los datos de IWEC son extremos con respecto a éste, sugiriendo una velocidad de 3,5 m/s. otra lectura importante es que los datos de Meteonorm como de IWEC señalan que la velocidad promedio de los vientos sería mayor entre noviembre y enero.

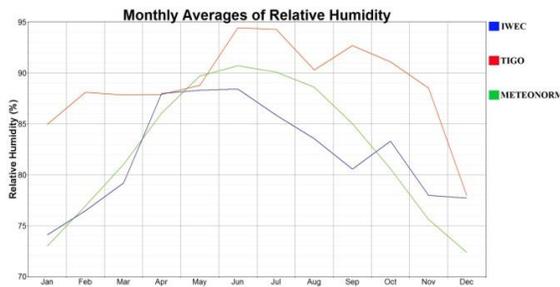


Figura 4: Humedad relativa promedio mensual para Concepción, comparación de datos.
Figure 4: A comparison of average monthly relative humidity in Concepción.

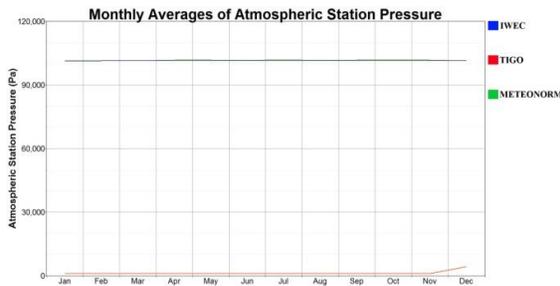


Figura 5: Presión atmosférica promedio mensual para Concepción, comparación de datos.
Figure 5: A comparison of average monthly barometric pressure in Concepción.

La dirección de los vientos sugiere una lectura similar entre los 3 tipos de archivos

climáticos en cuanto a la curva, como se puede ver en la figura 7, indicando que durante el invierno los vientos predominantes tienden a venir desde el norte mientras que el resto del año sería del sur-oeste.

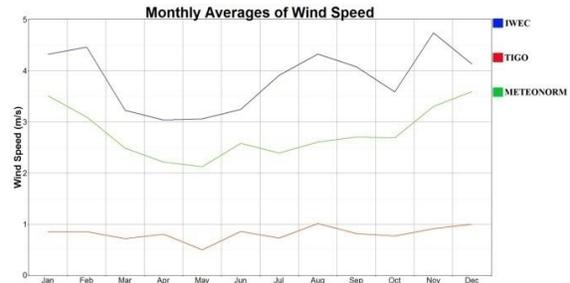


Figura 6: Velocidad del viento para Concepción, comparación de datos.
Figure 6: A comparison of average monthly wind velocity in Concepción. Data comparison.

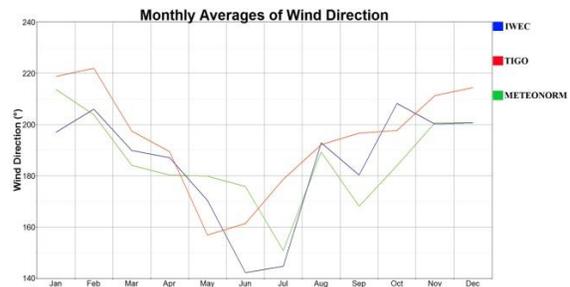


Figura 7: Dirección del viento para la ciudad de Concepción, comparación de datos.
Figure 7: A comparison of average monthly wind direction in Concepción. Data comparison.

7. Comparación de los archivos climáticos IWEC y Meteonorm

Debido a que hay datos que TIGO no tiene, algunas características no se pueden comparar, entre ellas la radiación solar, por lo que la comparación solo se realizó entre IWEC y Meteonorm.

El gráfico en la figura 8 muestra la radiación directa acumulada durante el año, señalando que la diferencia entre archivos climáticos es de un 10,6%.

La radiación horizontal difusa acumulada durante el año presenta los valores inversos que en el gráfico anteriormente descrito, presentando una diferencia de un 8,6%.

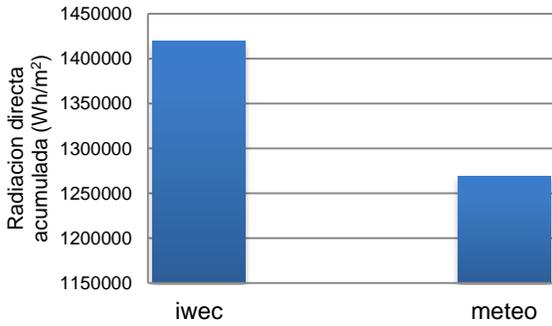


Figura 8: Radiación directa acumulada Wh/m².
Figure 8: Direct accumulated radiation Wh/m².

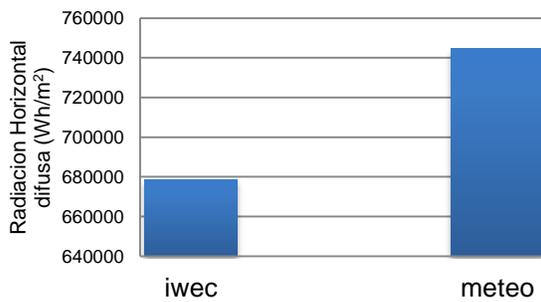


Figura 9: Radiación horizontal difusa Wh/m².
Figure 9: Diffuse radiation Wh/m².

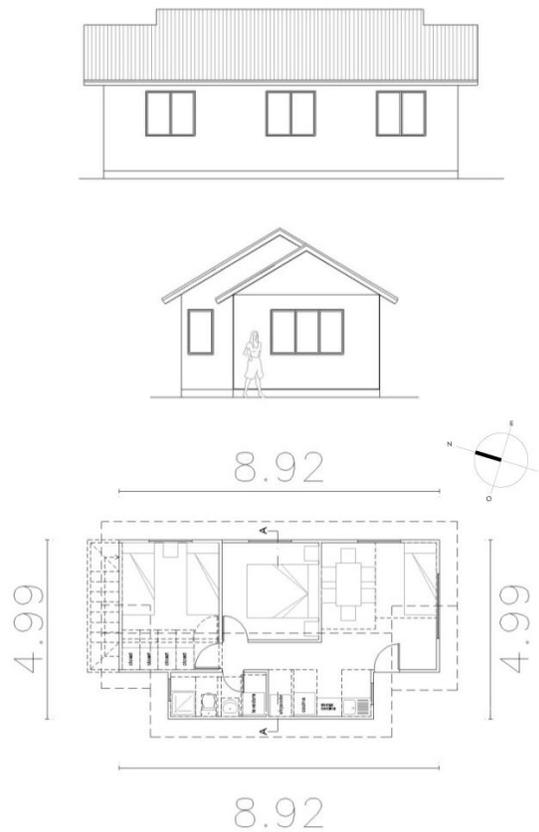


Figura 10: Vivienda en estudio.
Figure 10: Study dwelling.

Se pudo constatar cuales de estos aspectos climáticos tenían impacto directo en las simulaciones en TAS, las que son radiación global, radiación difusa, nubosidad, temperatura de bulbo seco, humedad, dirección del viento y velocidad del viento. El resto de las variables no son incluidas, a pesar de ello se consideran importante otros factores que sí podrían afectar los resultados como la dirección del viento para el cálculo de pérdidas por infiltración y ventilación.

7.1 Tabla de contenidos en el archivo climático

En la tabla 1 se encuentran todas las variables climáticas que se presentan en un archivo climático para simulación térmica, señalando con azul los datos que varían por hora el archivo y con rojo los datos anuales, es decir un mismo valor se repite durante todo el año.

8. Simulaciones realizadas

Para comparar el impacto de cada fuente climática en las simulaciones se realizó una prueba, para el ejercicio se modeló una vivienda de albañilería de un piso de 40 m², se estableció el rango de confort entre 18 y 24°C. Para el estudio se utilizó el software TAS de la compañía EDSL.

Los resultados mostraron una diferencia de 41,34 kWh/m² año que equivale a una desviación de un 24,8%.

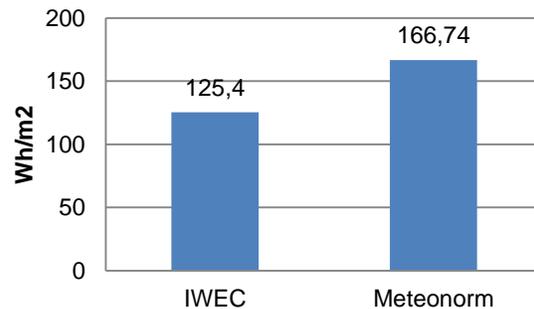


Figura 11: Demanda energética anual.
Figure 11: Annual energy demand.

Tabla 1: Comparación de datos que incluye cada formato.
Table 1: Comparison of data including each format.

	TIGO	Meteonorm	IWEC
Temperatura de bulbo seco / <i>Dry Bulb Temperature</i>			
Temperatura de punto de rocío / <i>Dew Point Temperature</i>			
Humedad Relativa / <i>Relative Humidity</i>			
Presión Atmosférica / <i>Atmospheric Pressure</i>			
Radiación horizontal extraterrestre / <i>Extraterrestrial Horizontal Radiation</i>			
Radiación extraterrestre normal directa / <i>Extraterrestrial Direct Normal Radiation</i>			
Intensidad de radiación horizontal infrarroja procedente del cielo / <i>Horizontal Infrared Radiation Intensity from Sky</i>			
Radiación Horizontal Global / <i>Global Horizontal Radiation</i>			
Radiación directa normal / <i>Direct Normal Radiation</i>			
Radiación horizontal difusa / <i>Diffuse Horizontal Radiation</i>			
Iluminancia global horizontal / <i>Global Horizontal Illuminance</i>			
Iluminancia directa normal / <i>Direct Normal Illuminance</i>			
Iluminancia difusa horizontal / <i>Diffuse Horizontal Illuminance</i>			
Luminancia del zenith / <i>Zenith Luminance</i>			
Dirección del viento / <i>Wind Direction</i>			
Velocidad del viento / <i>Wind Speed</i>			
Cielo cubierto total / <i>Total Sky Cover</i>			
Cielo cubierto opaco / <i>Opaque Sky Cover</i>			
Visibilidad / <i>Visibility</i>			
Altura de cielo / <i>Ceiling Height</i>			
Observación del Clima Presente / <i>Present Weather Observation</i>			
Códigos climáticos Presentes / <i>Present Weather Codes</i>			
Agua de Precipitación / <i>Precipitable Water</i>			
Profundidad Óptica de Aerosol / <i>Aerosol Optical Depth</i>			
Intensidad de Nieve / <i>Snow Depth</i>			
Días desde la Última Nevazón / <i>Days Since Last Snow</i>			
Albedo / <i>Albedo</i>			
Intensidad de Precipitación Líquida / <i>Liquid Precipitation Depth</i>			
Cantidad de Precipitación Líquida / <i>Liquid Precipitation Quantity</i>			

Tabla 2: Supuestos de modelación.
Table 2: Simulation assumptions.

Elemento	Materialidad espesor (mm)	Densidad kg/m ³	Conductividad térmica, λ W/(m K)	Calor específico J/(kg K)	Transmitancia Térmica W/m ² °C
Muro	estuco (2)	2000	2.49	1088	2.39
	ladrillo (140)	1400	0.6	840	
Piso	radier (100)	2400	1.63	920	4.32
Entrepiso	yeso cartón 10)	700	0.26	840	1.91
	madera	410	0.104	1088	
Cielo	yeso cartón (10)	700	0.26	840	0.48
	poliestireno (80)	20	0.043	1700	
Techo	plancha de zinc	700	113	390	5.88

9. Discusión y futuras investigaciones

Las grandes diferencias entre las bases climáticas comparadas plantean un grado de incertidumbre importante a la hora de realizar evaluaciones energéticas, es conocido que el clima es un factor importante en la veracidad de los resultados, no obstante Chile no cuenta con otro medio para realizar estos estudios en zonas donde no se encuentra dicha información. En el caso de datos estadísticos sólo se encuentran los datos climáticos de la EERE para cinco localidades, lo cual es insuficiente, incluso para representar la cantidad de climas que existen en Chile, el único medio para obtenerlos es Meteonorm por medio de la interpolación de datos de ciudades cercanas, lo cual es un riesgo ya que la calidad de los datos está relacionada con la similitud de los datos interpolados, en el caso de Chile las distancias entre ciudades en el norte son sobre los 500 kilómetros.

Para realizar la verificación de los datos interpolados de Meteonorm se comparan con datos mensuales estadísticos, los cuales se pueden obtener de la norma chilena NCh1079 Of.2008, en la cual figuran valores mensuales (temperatura, humedad, precipitaciones, radiación global, horas de sol, promedio de días con nieve, dirección y velocidad de viento) para una gran cantidad de localidades en Chile y los que son considerados como los valores oficiales.

Con tal de tener una aproximación de la calidad de los datos interpolados se enfrentaron resultados del archivo generados en Meteonorm y los datos de la norma.

10. Conclusiones

A pesar de que los datos obtenidos por TIGO son de un año específico (2011) y que su comparación con los datos de un archivo de año típico no son aplicables, ya que éstos predicen el comportamiento del clima a largo plazo (usualmente durante 30 años), nos sirven para tener una idea de cuánto es la desviación de los datos, de las fuentes IWECC y Meteonorm; frente a esto, ambos presentaron diferencias importantes, en todas las variables estudiadas.

La radiación directa modificada presentó una variación de un 10,6% y la radiación

horizontal difusa una variación de un 8,6%. La temperatura media anual, presenta una variación de 10,6% y la velocidad del viento un 27,8%.

La comparación realizada con los archivos climáticos de los años típicos (IWECC y Meteonorm) muestra una gran diferencia entre ellos, especialmente en los factores más sensibles que impactan en las simulaciones de vivienda que según Purdy y Beausoleil-Morrison (2001) son la temperatura, velocidad del viento y radiación.

Otro factor importante fue la cantidad de datos horarios presentes en los archivos, donde IWECC tiene datos más completos. Cabe destacar que Meteonorm (5.1) no especifica los años que considera ni tampoco la fuente de dónde obtiene los datos y cómo los calcula, por lo que queda la duda si realizó una interpolación o se basó en datos estadísticos.

Se sugiere que el archivo más fehaciente frente a los resultados sería el archivo IWECC, debido a la robustez de sus datos y por el origen del archivo (ASHRAE), que está validado. Además, ha sido considerado en investigaciones anteriores, enfrentado a una gran variedad de fuentes climáticas (MY2/SAMSON/NSRDB/CWEC/CWEEDS) detectándose que es el más completo, a pesar de contar sólo con 19 años de medición (Crawley, 2007a). Hay que tomar en consideración que se trata de una base de datos sin actualizar (1998) y que sus resultados podrían afectar la predicción de una simulación, ya que en la actualidad los escenarios climáticos más ampliamente aceptados pronostican un aumento de entre 1 y 3,5°C para las temperaturas medias globales anuales (Crawley, 2007b). Es por ello que es importante poner al día esta información.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado en el marco del proyecto Fondef d10i1025 "Establecimiento de clases de infiltración aceptable de edificios para Chile".

Referencias Bibliográficas

- Analyticsweather. (2013) *weather analytics*. Revisado el 02 ago. 2013 en: <http://www.weatheranalytics.com/index.html>.
ASHRAE (2009) *Handbook of Fundamentals*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc..

- Crawley, D. B., Huang, Y. J. (1997) Does It Matter Which Weather Data You Use in Energy Simulations? *Proceedings of ASHRAE 1998 TRANSACTIONS 104 Part 2*. 1997.
- Crawley, D. B. (2007a) Creating weather files for climate change. *Proceedings of the Buildings Simulation 2007, IBPSA, Beijing, China*. Washington, September 3-6 2007.
- Crawley, D. B.(2007b) Impact of climate change on buildings. *Proceedings of the CIBSE/ASHRAE international conference*. Edinburgh, Escocia.
- Energyplus; Energyplus helpdesk.(2008) *What should I be aware of when using Meteornorm weather files?* Revisado el 24 oct 2013 en : Energyplus<http://energyplus.helpserve.com/index.php?/Knowledgebase/Article/View/4>.
- Hensen, J.(1999) Simulation of building energy and indoor environmental quality – some weather data issues. En *Proceedings of the International Workshop on Climate Data and their Applications in Engineering*, Praga, República Checa, Hydrometeorological Institute.
- Lam, J.,Hui, S. y Chan, A.(1996). A statistical approach to the development of a typical meteorological year for Hong Kong. *Architectural Science Review*, 39 (4), 201-209. DOI:10.1080/00038628.1996.9696818 Marion, S.
- Wilcox and W. Manual de usuario para TMY3. 2008. National Renewable Energy Laboratory; Renewable Resource Data Center. (2013) User's Manual for TMY2s. Revisado el 24 oct.2013 en : <http://redc.nrel.gov/solar/pubs/tmy2/overview.html#method>
- Observatorio Geodésico Integrado Transportable TIGO. (2010). Revisado el 10 sept. 2013 en: http://www.wettzell.ifag.de/tigo/s/tigo_s/node1.html.
- Purdy, J., Beausoleil-Morrison, I.(2001). The significant factors in modelling residential buildings. *In Seventh International IBPSA Conference*, Rio de Janeiro, Brazil.
- Rapallini, A., Yarke E. (2000) *La utilización del programa Meteornorm para generar la base de datos Meteorológicos que requiere la adaptación del Energy-10 para la Argentina*. Buenos Aires.
- US Energy Department; Energy Efficiency and Renewable Energy. (2011). *Building Energy Software Tools Directory*. Revisado el 24 oct. 2013 en: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=369/pagename=alpha_list.

Recibido: 29|10|2012
Aceptado: 21|11|2013