

V5
N2

HS



Revista
Hábitat Sustentable

ISSN 0719 - 0700 / Vol. 5 N°. 2 / Jul-Dic 2015

V5N2



UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO

REVISTA HÁBITAT SUSTENTABLE

Julio - Diciembre 2015

Editorial

Esta nueva edición de la Revista Hábitat Sustentable surge pocos días después de la suscripción del nuevo Acuerdo en París sobre Cambio Climático (COP21), que constituye un gran compromiso global por el desarrollo sostenible. En él, los países han establecido metas de mitigación, como la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI); acciones que deberían redundar prontamente en la elaboración de programas nacionales que involucren al sector de la construcción, dada su relevancia en el impacto ambiental y consumo de combustibles fósiles. Este inédito acuerdo internacional impulsa, por tanto, el trabajo en el ciclo de vida de los edificios, para mejorar así el diseño, ejecución, uso y fin de vida de los mismos, lo que requiere, ciertamente, de estudios precisos en cada realidad local. Comprometidos en ese afán, revista Hábitat Sustentable presenta nuevos artículos que contribuyen al conocimiento científico vinculado con la temática.

El año 2015 también fue un año de logros para HS, ya que en aras de continuar perfeccionando su gestión editorial, logró la migración exitosa a una nueva plataforma de trabajo OJS (Open Journal System), más actualizada y versátil. En tal sentido, es necesario agradecer, en primer lugar, a la Dirección General de Investigación Universidad del Bío-Bío (DITEC-UBB), por el permanente apoyo y financiamiento a través del Convenio de Desempeño de Innovación en Biomateriales y Eficiencia Energética para el Hábitat Sustentable (MECESUP CD-INES), como así mismo al equipo de soporte informático y producción que participó en dicho proceso: Karina Leiva, Ingeniera Civil en Informática, Theresa St John, Productora de HS, Dra. Olga Ostría, con su aporte en correcciones de estilo e Ignacio Sáez con su valioso aporte en diagramación.

En la misma línea, la Revista ha concretado su indexación a Dialnet, una de las mayores bases de datos de contenidos científicos en lenguas iberoamericanas y recursos documentales.

El presente número, correspondiente a diciembre de 2015, incluye seis artículos seleccionados rigurosamente, y con importantes aportaciones al conocimiento de un desarrollo sostenible del ambiente construido.

El primer artículo aborda el estudio de construcciones industriales vinícolas en climas áridos, para asegurar su producción con el

menor consumo de recursos. El trabajo revela el importante rol de la inercia térmica y, por ende, de la materialidad constructiva en el desempeño térmico de estos edificios, mostrando caminos de diseño arquitectónico más sostenibles y requiere procesos constructivos pertinentes. En el segundo artículo se expone una propuesta de modernización de la iluminación artificial para un edificio público: el caso de la Universidad Federal de Santo André, São Paulo, y su impacto en el consumo energético y confort de los usuarios.

Un tercer trabajo plantea un análisis de estrategias de diseño pasivo en Santiago y Concepción, según distintos escenarios de cambio climático, advirtiendo que a pesar de la proximidad geográfica y perspectivas similares, estas dos áreas urbanas, que agrupan a la mayor parte de la población en Chile, requieren medidas diferentes. El cuarto texto presenta un novedoso estudio sobre el confort en espacios urbanos de regiones templadas cálidas, que revela la necesidad de utilizar pautas diferentes a los recintos interiores, debido a las distintas condiciones fisiológicas y de variación climática en áreas abiertas. El quinto artículo (otro aporte internacional) estudia el efecto térmico estacional de los espacios verdes urbanos en una ciudad de zona árida (San Juan, Argentina), a través del procesamiento de imágenes satelitales multiespectrales, verificando la eficiencia del uso de la teledetección, cuyos alcances pueden aplicarse al diseño urbano bioclimático.

Finalmente, y también desde Argentina, el último artículo de este número expone los resultados de los relevamientos realizados sobre la técnica constructiva del adobe y las características propias del hábitat social de la población originaria Huarpe, considerando la tierra cruda como un vehículo de habitabilidad.

Como equipo editorial, estamos convencidos de que estas publicaciones sirven de ejemplo de investigación y desarrollo, motivando a nuevas generaciones de profesionales a desarrollar una mayor responsabilidad social y ambiental.

Agradecemos especialmente a todos y cada uno de nuestros revisores que hacen posible que este proceso marche y a los lectores por el interés y confianza depositados en HS.

REDUCCIÓN DE LA DEMANDA TÉRMICA ORIGINADA EN LA VINIFICACIÓN EN BODEGAS LOCALIZADAS EN ZONA DE CLIMA ÁRIDO, MEDIANTE MODELADO TÉRMICO SEMI-EMPÍRICO

Artículo
Recibido 26-03-2014
Aceptado 10-09-2015

REDUCTION OF THE THERMAL DEMAND OF PRODUCTION IN
WINERIES LOCATED IN AN ARID CLIMATE USING SEMI-EMPIRICAL
THERMAL MODELING

ALBA RAMOS SANZ, Instituto Regional de Planeamiento y
Hábitat (IRPha). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y
Tecnológicas (CONICET), San Juan, Argentina
aramossanz@fau.unsj.edu.ar

RESUMEN

El estudio de tres muestras de bodegas elaboradoras, de San Juan, Argentina, revela que la demanda energética (DE) en la vinificación se vincula a los procesos térmicos que se desenvuelven en el interior de las envolventes de vinificación (EV). Estos procesos determinan la calidad del vino y se extienden desde la fermentación hasta la conservación del mismo, durante los cuales el producto requiere cierta rigurosidad térmica, a la que se refiere análogamente en este trabajo como *confort del vino*. Para determinar la incidencia del clima árido en las condiciones de confort del vino y en la consecuente DE en acondicionamiento térmico, se diseña una planilla de modelización semi-empírica. Mediante este instrumento se experimentan los procesos térmicos de fermentación y conservación del vino en períodos cálidos (fermentación y conservación) y fríos (conservación). Los resultados de la modelización confirman que un incremento de la inercia térmica de las EV promueve la disminución de la carga térmica (QT), la cual repercute sobre la DE en la bodega.

Palabras clave

Eficiencia, clima, vinificación, modelización térmica, envoltorio

ABSTRACT

The study of a sample of three wineries in San Juan, Argentina reveals that energy demand (DE) in winemaking is related to the thermal processes that occur inside winemaking receptacles (EV). These processes determine the quality of the wine, range from fermentation to storage, and require a certain thermal stringency, which is likewise referred to in this article as *wine comfort*. To determine the influence of an arid climate on wine comfort conditions and the resulting DE for thermal conditioning, a semi-empirical modeling tool was designed. With this instrument it is possible to test the thermal processes of wine fermentation and storage during warm (fermentation and storage) and cold seasons (storage). The modeling results confirm that an increase in the thermal inertia of the EVs promotes heat load reduction (QT), which affects the winery's DE.

Keywords

Efficiency, climate, winemaking, thermal modeling, receptacle

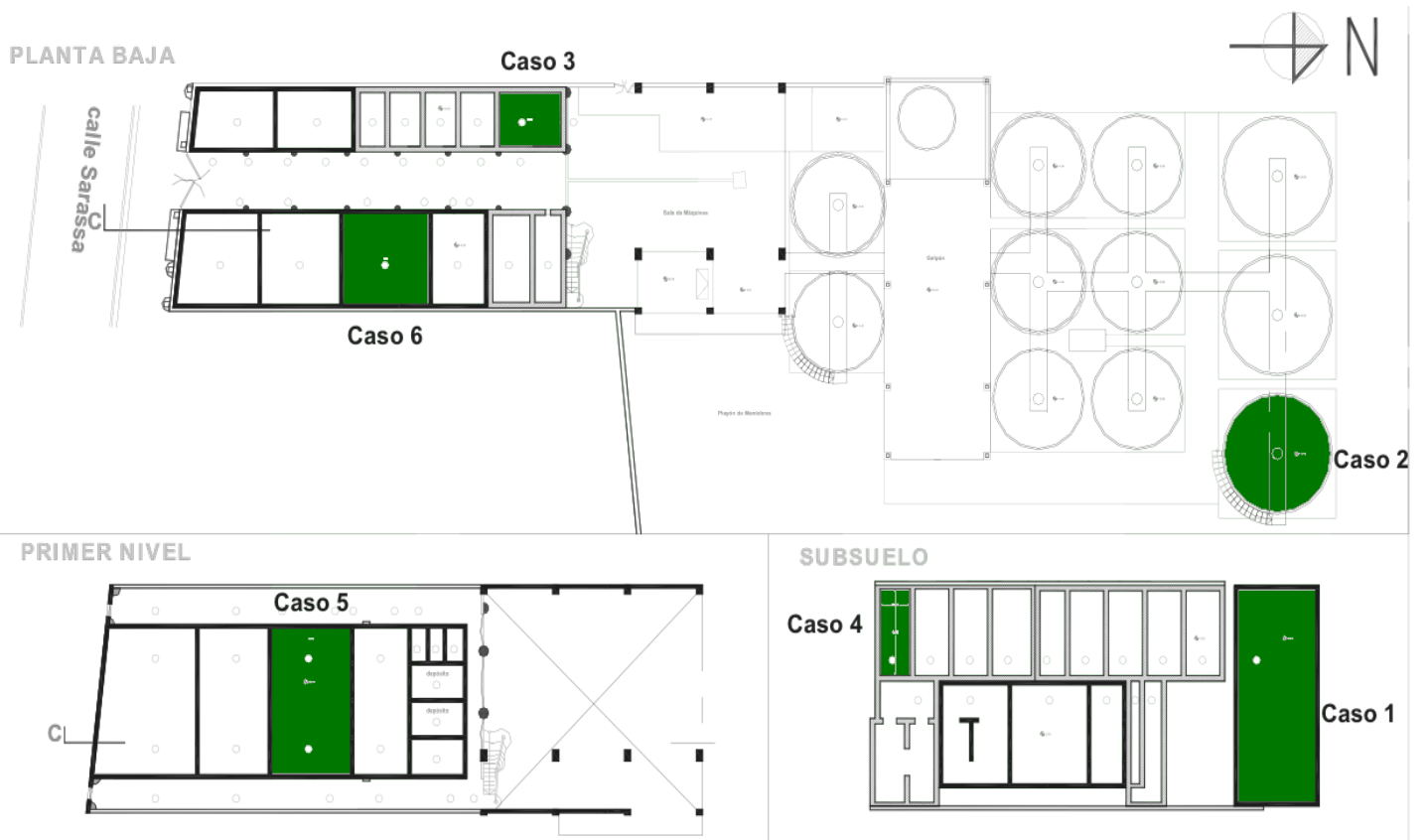


Figura 1: Planta de la MI: casos de EV tradicionales expuestos a la intemperie.

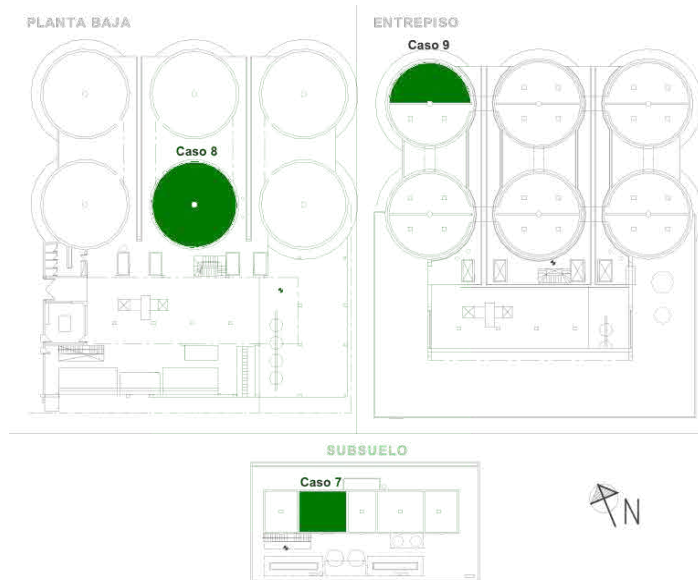


Figura 2: Planta de la MII: casos de EV de bodegas trasladistas, expuestos a la intemperie.

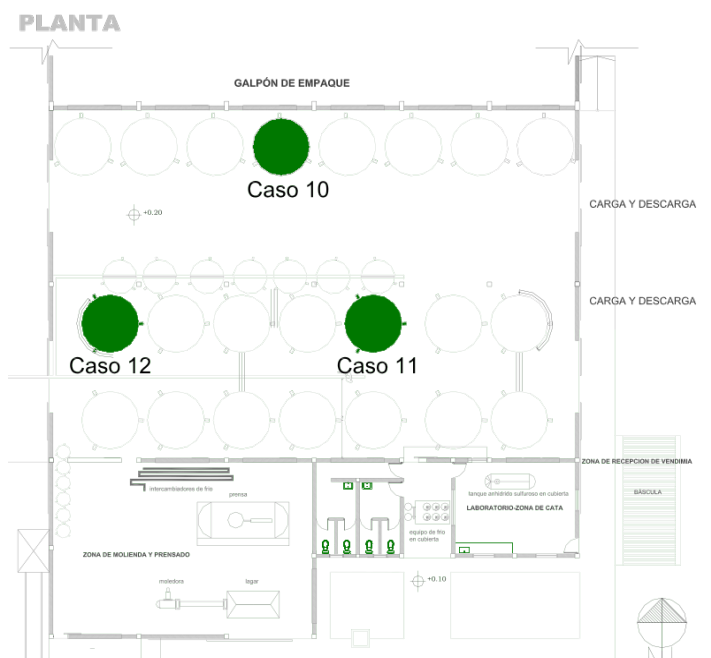


Figura 3: Planta de la MIII: casos de EV de bodegas

INTRODUCCIÓN.

La vinificación implica los procesos térmicos de fermentación y de conservación. En el primero, luego de molido o prensado el grano de uva, el mosto inicia su proceso exotérmico en el cual la temperatura de la masa constituye el factor más importante para alcanzar un producto de calidad ¹. Una vez acabada esta transformación de mosto a vino, se procede a su conservación, cuyo período oscila entre los seis meses y los dos años ². En esta instancia el vino debe conservar una temperatura estable y dentro de un rango estricto, dado que una temperatura elevada (en verano) promueve infecciones en él debido a la proliferación de microorganismos (Oreglia, 1978). Asimismo, una temperatura baja (en invierno) propicia la decantación de sustancias, en detrimento de su transparencia y limpidez. Las envolventes de vinificación (EV) desempeñan un papel relevante en su rol de regulador térmico de las condiciones térmicas de confort del vino, tanto en la instancia de fermentación como en la de conservación anual (Ramos Sanz y Blasco Lucas, 2011). Las bodegas de San Juan, Argentina, se caracterizan por disponer de EV de diversos materiales, capacidades y formas, dependiendo de las posibilidades comerciales y económicas de la empresa. Entre los doce casos de EV seleccionados para el estudio, se reconocen envolventes de acero inoxidable, acero negro, mampostería enlucida, hormigón armado y adobe. Estos materiales inciden sobre las condiciones térmicas en el interior de las EV, afectando a la demanda energética (DE) en vinificación. Las EV escogidas ofrecen diversas situaciones espaciales y configuraciones geométricas individuales y grupales heterogéneas, con efectos comparativos.

1. DESARROLLO.

1.1. OBJETO DE ESTUDIO.

Se han considerado tres establecimientos agroindustriales (MI, MII y MIII), localizados en la Provincia de San Juan -cuya Latitud Sur es de 31° y Longitud igual a 68°, y contemplados en la zona bioambiental IIIa de la República Argentina (IRAM 11603, 1996). La MI (Tabla 1: seis primeros casos y Figura 1) se describe como una bodega tradicional de principios del siglo XIX, en la cual se encuentran EV de diversos tiempos, dada la evolución temporal del establecimiento. Aunque en sus orígenes se utilizó para procesar la vendimia, su ubicación urbana condiciona

actualmente el funcionamiento a la conservación del vino elaborado. Estos casos varían desde EV de adobe (caso 4) hasta EV de acero común y de capacidades superiores a los 150.000 L (caso 2), pasando por algunas envolventes de ladrillón armado (casos 1, 3, 5 y 6). Estas últimas EV presentan una configuración aglomerada, superpuesta y adosada una con otra.

La MII (Figura 2), consiste en una bodega trasladista, caracterizada por una gran sala de molienda, muy representativa de los modelos de producción de los años setentas. Esta bodega constituye un claro caso de producción continua y masiva de vinos comunes, aunque en ella se elaboran algunos varietales. A diferencia de la MI, la MII presenta una homogeneidad en cuanto a su materialidad dado que está íntegramente construida en hormigón armado (casos 7, 8 y 9). Como en la muestra anterior, los casos se ubican a la intemperie.

La MIII (Figura 3) representa el modelo productivo de los últimos tiempos, impuesto a partir de la internacionalización del vino argentino a partir de 1990. Se trata de una bodega boutique, definida como tal dada los pequeños volúmenes de producción y la rigurosidad de su mecanización. La elaboración del vino se desenvuelve en un proceso discontinuo y lento, de pequeñas cantidades de uva. Las EV son homogéneas (casos 10, 11 y 12), confeccionadas en acero inoxidable y cobijadas dentro de un galpón industrial.

1.2. METODOLOGÍA.

Se aborda la investigación mediante el Estudio de Casos de 12 EV de conservación y fermentación del vino durante el seguimiento de la molienda 2011 y 2012. Se confecciona una herramienta de modelización térmica a partir de la definición semi-empírica de variables físicas afectadas a los coeficientes de intercambio térmico superficial exterior (h_e), en contacto con el entorno climático, e interior (h_i), en contacto con el vino y con el dióxido de carbono de las diversas clases de EV (de hormigón, adobe, ladrillón, metal) y de la envolvente de bodega. Esta herramienta posibilita la experimentación de los casos en diversas condiciones térmicas.

Para la fermentación se instrumentan variables de temperatura media exterior para períodos cálidos en el día (33,1°C) y en la noche (18°C). Para la conservación se instrumentan las variables para períodos cálidos y fríos en momentos del día (10,6°C) y de la noche (2,7°C). Se conoce la temperatura de confort del vino a partir

[1] Estos rangos térmicos se definen a partir de las condiciones adecuadas a la vida de las levaduras y bacterias.

[2] Los vinos jóvenes son de pronta liberación y consumo, no siendo apropiados para el añejamiento, proceso en el cual transitan varios años de conservación dentro de la EV.

























Nomenclatura	Orden	Ambiente	Forma planta	Relación	Ubicación	Material	Capacidad (L)	Configuración	Tipología Bodega	Muestra		
ATSLVc3	Caso 1	Sistema de conservación		aislada	subterránea	ladrillón	>150000		Conservación	I		
ASMchVc3	Caso 2	Tanque de conservación		aislada	sobrerասante	chapa	>150000					
ESSaVc1	Caso 3	Pileta de conservación		entre vasijas	sobrerասante	ladrillón	<30000					
ETSaVc1	Caso 4	Sistema de conservación		entre vasijas	subterránea	adobe	<30000					
ESSLVc2	Caso 5	Pileta de conservación		entre vasijas	sobrerասante	ladrillón	30000 a 150000					
ESSLVc1	Caso 6	Pileta de conservación		entre vasijas	sobrerասante	ladrillón	<30000					
ESHVc2	Caso 7	Sistema de conservación		entre vasijas	sobrerասante	hormigón armado	30000 a 150000				Elaboración y Conservación	II
ASHVf3	Caso 8	Pileta de fermentación		aislada	sobrerասante	hormigón armado	<30000					
ESHVf2	Caso 9	Pileta de fermentación		entre vasijas	sobrerասante	hormigón armado	30000 a 150000					
ASMxVf1	Caso 10	Tanque de fermentación		aislada	sobrerասante cubierto	acero inox	30000					
ASMchVf1a	Caso 11	Tanque de fermentación		aislada	sobrerասante cubierto	chapa	30000					
ASMchVf1b	Caso 12	Tanque de fermentación		aislada	subterránea cubierto	chapa	30000					

Tabla 1 Descripción de los casos de EV seleccionados para la modelización térmica, pertenecientes a las diversas muestras de bodegas MI, MII y MIII.



Figura 4: EV de acero común, caso 5 (MI).

Figura 5: EV de hormigón armado, caso 9 (MII).

Figura 6: EV de acero inoxidable, casos 11 y 12 (MIII); únicos casos que no se hallan a la intemperie.

de desarrollos semi-empíricos que involucran valores promedios establecidos mediante mediciones y consultas a profesionales idóneos. La temperatura de fermentación varía según se trate de vinos blancos o tintos. En el caso de los primeros, los rangos se definen en 23,5°C, con una desviación estándar igual a +/- 3,3K; y en el de los segundos, el valor promedio corresponde a 25,6°C +/- 4,5 K.

En relación a los estados de conservación en período cálido, se define una temperatura media de confort igual a 22,2°C y 15°C en período frío. La desviación estándar en ambas instancias es de +/- 1,9 K.

Para la simplificación de los fenómenos de transferencia de calor, tanto en la fermentación como en la conservación del vino, se recurre al análisis en régimen estacionario y régimen cíclico estacionario. Se conoce la temperatura interior necesaria para el confort así como la temperatura exterior, y se suponen ambas constantes. Se suman las cargas horarias debidas a la fermentación. La envolvente está sometida a un régimen térmico diurno y nocturno. Se considera que la energía transmitida por conducción varía según el retardo y la amortiguación del material. A estas cargas diferidas se las denomina desviaciones instantáneas del flujo de calor y se suman a las cargas en régimen estacionario.

Con el fin de estimar los flujos de calor en régimen estacionario, se recurre al empleo de las siguientes expresiones;

$$\text{Por Conducción } Q_c = kA (T_e - T_i) \quad [\text{Wh}] \quad (1)$$

$$\text{Por Convección } Q_v = hA (T_\theta - T_a) \quad (2)$$

$$\text{Por Radiación } Q_r = \alpha I + \epsilon \sigma (T_\theta - T_a) \quad (3)$$

Donde;

k es el coeficiente de transmitancia térmica

T_i y T_e son temperatura interior y exterior

h es el coeficiente combinado de intercambio térmico

T_θ es la temperatura superficial

α es el coeficiente de albedo de la superficie

I es la intensidad de la radiación solar

ε es la emisividad del material

σ es la constante de Stefan-Boltzmann

La variación térmica horaria en el mosto-vino se estima como:

$$\partial T / \partial t = Q_{\text{total}} / V \rho C_p \quad [\text{°C/h}] \quad (4)$$

Donde;

É es la energía exotérmica producida en la fermentación del mosto

Q_{E_{edilicia}} es la energía que transita la envolvente, sin considerar la energía exotérmica liberada en la fermentación del mosto-vino

Q_{total} es (É + Q_{E_{edilicia}})

C_p es la capacidad calorífica específica del mosto vino

Un procedimiento sencillo para obtener la carga diurna – en régimen cíclico estacionario- de un sistema inerte con retardo medio de 12 horas (Papparelli y De Rosa, 1998) consiste en la sumatoria de ambos flujos, estacionario y desviado -por efecto de la amortiguación y el retardo-. La carga diferida va a depender de la diferencia de temperatura superficial entre el exterior (a mediodía) y la temperatura superficial interior -con 12 horas de retraso- del valor de la amortiguación.

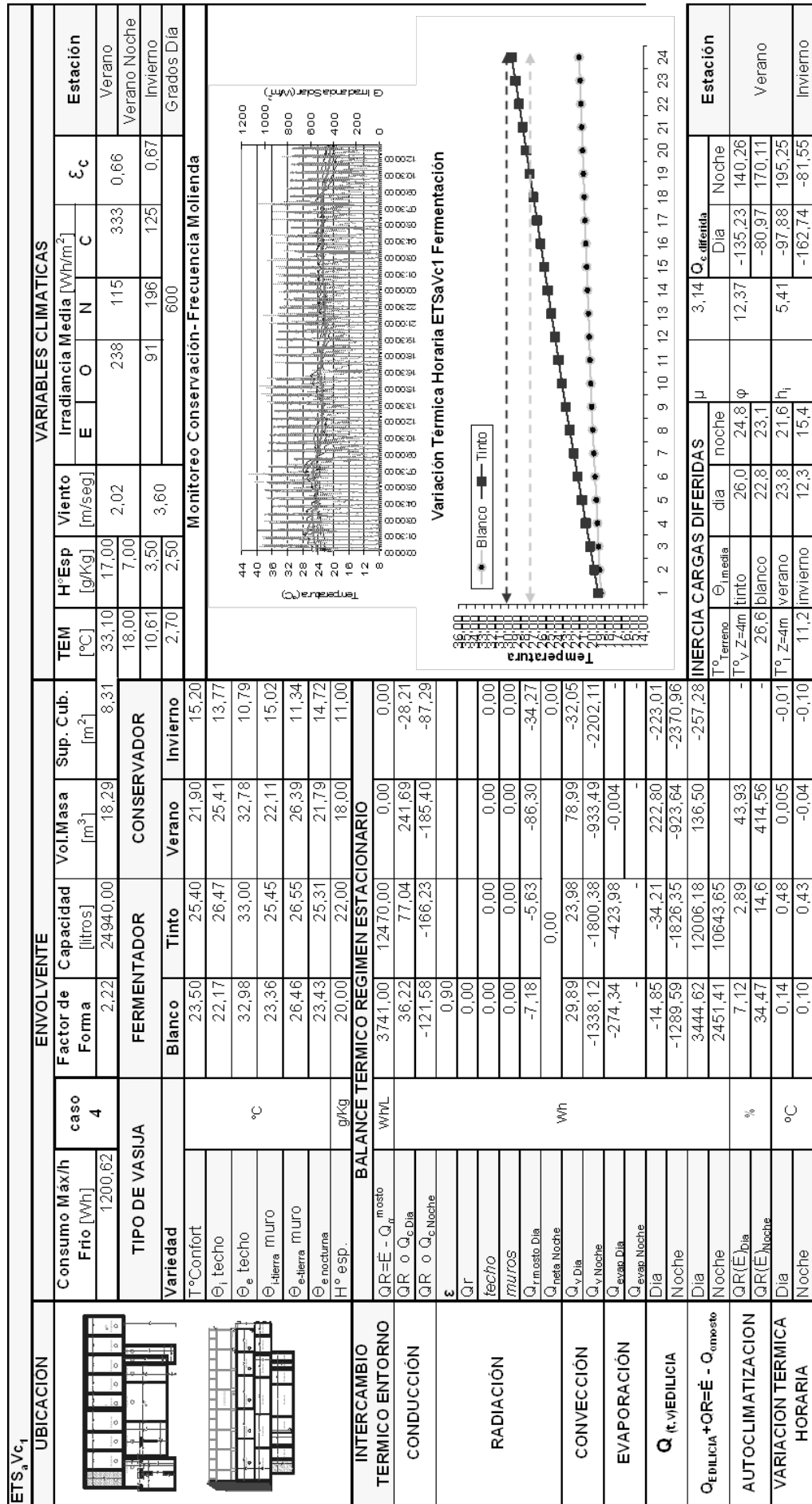


Figura 7: Planilla de modelización térmica.

$$QC_{\text{dia}} = Q_c + h_{ij} (T_{\theta e} \text{ máx} - T_{\theta i} \text{ máx})$$

$$QC_{\text{noche}} = Q_c + h_{ij} (T_{\theta e} \text{ máx} - T_{\theta i} \text{ máx}) \quad [Wh](5)$$

Donde;

Q_c son las cargas por conducción vinculadas a las medias máximas y mínimas exteriores

h_i es la conductancia superficial interior

μ es la amortiguación del elemento igual a $e-d/[\pi/\alpha_{\text{material}}/P]$; donde $e=2,71828$, $-d$ es la profundidad y α es la difusividad térmica del material y P es el espesor del mismo.

T_{θ} es la temperatura superficial

1.2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA TERMODINÁMICO.

En una EV de fermentación, el mosto ocupa la totalidad del espacio, dejando un metro de vacío que progresivamente se ocupa de CO₂ hasta 1 atm de presión. Se calcula el efecto del gas en la absorción y radiación de calor. En aquellas EV de acero inoxidable que disponen de camisa de refrigeración, esta se considera en el cálculo como una cámara de agua vertical. La misma suposición se lleva a cabo cuando dicha EV se emplea para la conservación.

En las EV de conservación no se produce gas, dada la inactividad fermentativa. Los vacíos se cubren en su totalidad, sin dejar lugar al aire, ya que puede favorecer la oxidación del vino. El espacio de aire en contacto con la superficie del vino es igual al área superficial de la boca superior de acceso, estimada en todos los casos en 0,80m².

Se obtienen los valores del coeficiente combinado h_i a partir de las teorías de la dinámica de fluidos. La transferencia de calor se define para el medio líquido y gaseoso contenido. Se determina el valor del coeficiente de intercambio exterior por convección, en relación a la exposición y velocidad de los vientos, el valor del coeficiente interior combinado de intercambio de calor en presencia de CO₂ a 1 atm y el mismo coeficiente interior en una cámara vertical llena de agua (camisa refrigerante).

Se estima el valor de los Grados-Día, la temperatura del terreno natural a una profundidad de - 4,00 m, tanto en verano como en invierno y la temperatura del cielo en verano e invierno -día y noche-. La emisividad del cielo en verano e invierno y la radiación emitida por materiales de baja y de alta emisividad también son calculadas.

1.2.2 DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA DE MODELIZACIÓN.

(Ver figura 7)

Planilla K: con el estudio de campo se obtienen las propiedades de la EV; materiales constructivos, espesores, dimensiones, acabados superficiales, capacidades y usos. Con esta información se confecciona la ficha de transmitancia térmica (K).

Planilla Q_R y Q_{cal} : A continuación se completan los datos de superficie y ubicación de la envolvente. Se indica si la misma recibe el impacto del sol o de las brisas. Se obtiene la carga de frío (QR) para verano en la FV, FL y CV y las pérdidas de energía térmica en el invierno (Q_{cal}) para la CI.

Planilla de Modelización Térmica (Figura 7): En esta se distinguen los intercambios de energía con el medio por conducción, convección y radiación a través de la envolvente. Los intercambios entre la masa y el medio se diferencian por evaporación y radiación o irradiación. Se clasifican los destinos de la EV, CV, CI, FL o FV.

CONFIABILIDAD DE LA INFORMACIÓN.

La información estadística climática oficial -velocidad del viento, irradiancia solar, temperaturas exteriores de verano e invierno- se complementan con datos medidos con sensores (temperatura interior del mosto y del vino tanto en verano como en invierno) y con información desarrollada analíticamente (en la fermentación: energía generada por litro y por hora, energía absorbida por el mosto y el CO₂, energía perdida por evaporación, energía perdida por irradiación; y en la transferencia de calor en la envolvente: coeficientes combinados, resistencias térmicas, etc.).

VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

Se procura minimizar el margen de error lo máximo posible. Los datos estadísticos climáticos son reconocidos en el área disciplinar a nivel nacional (IRAM 11601, 2002) e internacional (ASHRAE, 2007), por tratarse de información procesada por profesionales y equipos afines. Los datos medidos con sensores HOBO U12 T12 son tomados con adecuada precaución y sus registros son diversos y contundentes. Los datos elaborados analíticamente se relacionan con ambas informaciones: la estadística y la relevada *in situ*. Dichos datos se determinan a partir de reconocidos procedimientos de cálculo de transferencia de calor y se hallan referenciados adecuadamente.

Caso	CONDUC. (W/m²K)				FF	K (W/m²K)			
	FL	FV	CV	CI		FL/FV	CV	CI	PROM
1	1,5	0,5	55,1	25,8	1,1	0,6	1,5	1,5	1,2
2	11,0	3,8	27,9	14,1	1,0	1,6	3,8	3,6	3,0
3	4,7	1,6	68,8	53,7	2,1	1,5	2,2	2,2	1,9
4	-1,7	-0,7	62,6	55,5	2,2	0,5	1,3	1,2	1,0
5	10,5	2,6	64,3	18,7	1,5	1,2	2,0	1,9	1,7
6	4,6	1,0	51,2	30,1	1,6	0,8	1,3	1,3	1,1
7	2,2	0,5	38,2	45,6	1,3	1,5	2,4	2,3	2,1
8	5,0	1,2	38,8	43,8	0,9	0,8	1,8	1,8	1,5
9	2,3	4,3	4,3	17,4	1,1	0,7	0,9	0,9	0,8
10	6,8	2,1	77,3	49,9	1,7	0,7	0,6	0,6	0,6
11 y 12	21,5	9,6	45,6	43,8	1,7	2,1	3,7	3,7	3,2

Tabla 2: Porcentajes de energía transmitida por conducción a través de la EV para los diversos usos (izq. FL, FV, CV, CI). Valores de factor de forma (FF) y de transmitancia térmica (K) en cada destino del caso (der.).

2. RESULTADOS.

La transmisión de ET a través de la envolvente varía según el caso, pero, en general, del total de la QT, las cargas por conducción inciden principalmente en las instancias de conservación. En la fermentación, los mayores porcentajes de energía térmica transmitida por conducción inciden sobre la FL. Entre las variables vinculadas a la conducción térmica en la EV se analizan la transmitancia térmica (K), el espesor (e) y el factor de forma (FF; Tabla 2).

El medio en contacto con la EV afecta la resistencia y la diferencia térmica. La temperatura interior se considera igual a la temperatura de confort, mientras que la temperatura exterior varía si el medio es el aire -en verano (33,1 °C), en invierno (noche: 2,7 °C)- o la tierra vegetal -en verano (26,6 °C), en invierno (11,2 °C).

El coeficiente K difiere según se trate de un proceso de FL, de CV o CI. La conductancia superficial interior (h_i) y exterior (h_e) modifica su valor. De esta manera, el valor de h_i que incide sobre K depende del proceso térmico en su interior. Si en la EV se desarrolla una FL, se contempla en la R_{si} la presencia de la cámara de CO_2 . Este factor interfiere en la transferencia térmica, aunque en la práctica se suele promover la disipación de este gas en el descube y mediante trasiegos.

El valor de h_e depende de la velocidad del aire y de la forma de la EV y modifica directamente al valor del coeficiente K.

Las ganancias diurnas y las pérdidas nocturnas en fermentadores con inercia considerable propiciada por el terreno natural (e=1 m), son reducidas pero constantes. La línea de tendencia del progreso térmico es ascendente y

estable. Las variaciones térmicas diurnas y nocturnas son similares. El mosto en FL contenido en una EV prácticamente sin inercia térmica (por ejemplo, metal) requiere frío al instante en que aumenta la temperatura exterior, a partir de las 9:00 de la mañana. Al poco tiempo sucede una variación térmica interior en la masa de mosto-vino. Asimismo, estas EV son altamente sensibles al descenso de temperatura en horas de la noche.

Los porcentajes de energía transmitida por conducción se hacen más evidentes en la CV y en la CI. En las instancias de FL y FV la energía principalmente proviene de \dot{E} .

2.1. MEDIDAS PASIVAS DE OPTIMIZACIÓN DE LA EV.

2.1.1. ENTERRAMIENTO O ATERRAPLENAMIENTO DE EV.

El aterraplenamiento o enterramiento consiste en rodear las paredes de las EV en su altura total con tierra. Para la simulación se contempla un espesor semi-infinito de 1m. En verano es conveniente que el terraplén mantenga una temperatura superficial baja, conservándolo a la sombra o humedecido. La aplicación de esta estrategia pasiva depende de cuestiones espaciales y estructurales. En el primer caso, debe existir un lugar físico alrededor de la EV en el cual sea factible rellenar con tierra. En el segundo, no es posible aplicar una cubierta de tierra sobre la losa de las EV, dado que la preexistencia de las mismas está condicionada a una carga estructural definida de antemano. Las excepciones son los casos 1 y 4 (cisternas) y los casos 8 y 9, que no disponen de espacio físico para implementar dicha medida.

DUPLICAR ESPESOR DE LA ENVOLVENTE				
EV	FERMENTACIÓN		CONSERVACIÓN	
	$Q_{EDILICIA}$	$Q_{EDILICIA} + (\dot{E} - Q_{7mosto})$	verano	invierno
Caso 1	0,0	0,0	1,4	1,90
Caso 2	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 3	46,4	4,3	34,6	59,8
Caso 4	67,6	0,0	-1,0	-0,3
Caso 5	11,0	1,3	3,7	28,2
Caso 6	27,4	-1,5	-21,5	1,5
Caso 7	23,9	1,3	40,9	23,2
Caso 8	18,8	2,4	17,3	19,1
Caso 9	1,4	1,0	2,4	1,1
Caso 10	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 11y 12	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Reducción de la carga térmica [%]	30,8	1,1	9,7	16,8

Tabla 3: Porcentajes de reducción de la QT en la fermentación (der.) y en la conservación en verano e invierno (izq.). En la base de la tabla se presentan los porcentajes medios de optimización del desempeño térmico en cada destino de la EV.

Las EV subterráneas utilizan el terreno natural como sumidero de calor. Según cálculos propios, en el verano, a - 4m de profundidad la temperatura del terreno alcanza los 26,6°C. Esta temperatura -aproximada a la media anual- se encuentra dentro de los límites de confort para ambas variedades de vinos. Las pérdidas hacia el terreno son relativas a la temperatura de confort. Mientras más bajas las condiciones térmicas de confort, más difícil es recurrir al refrescamiento natural que aporta el terreno, ya que la tendencia es equilibrarse térmicamente a 26,6°C.

Esta medida no es recomendable en el caso de vinificaciones tintas debido a la dificultad que representa extraer los orujos y borras del fondo de la cisterna. Sin embargo, se puede pensar la EV de manera que se encuentre semienterrada, en una bodega de diseño gravitacional. Del 16% de energía térmica que transita por la envolvente, se produce un ahorro del 16,1 % de la QR durante la FL. El enterramiento reduce la totalidad de las ganancias térmicas debidas al intercambio con el aire exterior.

Como puede suponerse, el ahorro en la QT en la FL o FV es menor, alcanzando hasta el 8% de $Q_{EDILICIA} + (\dot{E} - Q_{7mosto})$ en EV con cierta inercia (casos 3, 5, 6, y 7).

(Ver tabla 3)

Como fermentador de variedades blancas, la EV subterránea debe disponer de un filtro extractor de dióxido de carbono y asegurar su hermeticidad para evitar la evaporación del alcohol. También es posible que la EV se encuentre semienterrada, con su tercio superior aislado térmicamente y expuesto al medio externo; procedimiento llevado a cabo gracias extractores o rejillas de ventilación regulables, ubicadas en elementos opuestos y con una de las aberturas al sur, con el objetivo de facilitar la disipación del gas de manera natural.

La mayor pertinencia de esta medida se observa en EV que carecen de inercia y disponen de una elevada conductividad térmica, como los casos 2, 11 y 12. Las variaciones térmicas durante la FL en estas EV optimizadas son semejantes a las del caso 4 sin optimizar. Las temperaturas más estables y variaciones horarias más lentas permiten el mayor control térmico sobre el proceso de FL.

La diferencia en la optimización entre el caso 10 y los casos 11 y 12 radica en la preexistencia de la cámara de agua. En el caso 2 esta mejora es relevante porque sus condiciones originales son desfavorables, al encontrarse la EV expuesta a la radiación solar directa y a mayores intercambios convectivos.

En conservadores anuales, la inercia es una medida de gran optimización, superando en la mayoría de los casos el 50% de ahorro en la QT.

En el invierno, las pérdidas pueden reducirse por la inercia de la tierra hasta un 75,4% (Tabla 3) promedio. Inversamente a la situación de verano, es recomendable que la terminación superficial del terraplén sea inclinada hacia el norte y que esté protegida de las brisas del sur. El acabado oscuro permite una elevación de la temperatura superficial, con lo cual se incrementa el intercambio térmico entre el terreno y la superficie del terraplén. Asimismo, es conveniente una baja emisividad del material para disminuir las pérdidas nocturnas hacia el cielo.

DUPLICAR ESPESOR DE LA ENVOLVENTE				
EV	FERMENTACIÓN		CONSERVACIÓN	
	Q _{EDILICIA}	Q _{EDILICIA} + (Ė - Q _{mosto})	verano	invierno
Caso 1	0,0	0,0	1,4	1,90
Caso 2	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 3	46,4	4,3	34,6	59,8
Caso 4	67,6	0,0	-1,0	-0,3
Caso 5	11,0	1,3	3,7	28,2
Caso 6	27,4	-1,5	-21,5	1,5
Caso 7	23,9	1,3	40,9	23,2
Caso 8	18,8	2,4	17,3	19,1
Caso 9	1,4	1,0	2,4	1,1
Caso 10	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 11y 12	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Reducción de la carga térmica [%]	30,8	1,1	9,7	16,8

Tabla 3: Porcentajes de reducción de la QT en la fermentación (der.) y en la conservación en verano e invierno (izq.). En la base de la tabla se presentan los porcentajes medios de optimización del desempeño térmico en cada destino de la EV.

INERCIA DEL CONJUNTO- APILAR EV ENTRE SÍ				
EV	FERMENTACIÓN		CONSERVACIÓN	
	Q _{EDILICIA}	Q _{EDILICIA} + (Ė - Q _{mosto})	verano	invierno
Caso 1	90,2	2,2	88,0	86,3
Caso 2	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 3	35,7	3,0	34,3	38,1
Caso 4	64,8	-1,8	23,2	56,7
Caso 5	17,5	-2,2	44,8	66,7
Caso 6	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 7	99,2	4,5	91,0	21,8
Caso 8	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 9	68,9	48,5	70,3	26,6
Caso 10	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 11 y 12	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Reducción de la carga térmica [%]	48,5	9,1	58,6	49,4

Tabla 4: Porcentajes de reducción de la QT en la fermentación (der.) y en la conservación en verano e invierno (izq.). En la base de la tabla se presentan los porcentajes medios de optimización del desempeño térmico en cada destino de la EV.

INERCIA DEL CONJUNTO- ADOSAR EV ENTRE SÍ				
EV	FERMENTACIÓN		CONSERVACIÓN	
	Q _{EDILICIA}	Q _{EDILICIA} + (Ė - Q _{mosto})	verano	invierno
Caso 1	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 2	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 3	48,7	4,5	44,5	79,8
Caso 4	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 5	12,6	1,4	6,5	51,2
Caso 6	53,9	1,7	18,4	70,4
Caso 7	18,9	1,0	37,2	88,0
Caso 8	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 9	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 10	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 11y 12	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Reducción de la carga térmica [%]	33,5	2,1	26,6	72,4

Tabla 5: Porcentajes de reducción de la QT en la fermentación (der.) y en la conservación en verano e invierno (izq.). En la base de la tabla se presentan los porcentajes medios de optimización del desempeño térmico en cada destino de la EV.

2.2. INCREMENTO DEL ESPESOR DE LOS MUROS EXTERIORES.

La amplitud térmica del clima árido se amortigua mediante la masa térmica, logrando una relativa estabilidad en el interior de la envolvente. Al suponer la duplicación del espesor, se reduce la QT. Los resultados indican que, en general, los incrementos de espesor hasta los 0,60m no producen ahorros significativos en la QT.

En verano, esta medida alcanza ahorros medios del 1,1% en la FL. Habitualmente, los ahorros son mayores en la CI, con un 16,8% medio. En algunas EV la inercia impide la transmisión de calor hacia el exterior, concentrando las cargas dentro del contenedor. En los casos 4 y 6 se produce este efecto, incrementando la carga en el interior, dado que los mismos ya tienen suficiente inercia. En muros en contacto con el ambiente exterior (casos 3, 7 y 8; Tabla 4), el incremento del espesor reduce el valor de K en un 40%. En estas EV se presentan los ahorros más importantes.

En estados de conservación del vino (CV y CI), las envolventes sobre rasantes, que presentan una proporción relevante de superficie expuesta al intercambio térmico con el medio exterior, alcanzan una reducción importante de QT.

(Ver tabla 4)

2.3. APILAMIENTO DE PILETAS.

(Ver tabla 5)

Siempre que estas no sean metálicas, la superposición de contenedores incrementa la resistencia térmica de las envolventes. Las EV apiladas deben tener el mismo destino e igual temperatura de confort tanto en la FL como en la CV o CI. La tasa de transferencia térmica entre los elementos de las envolventes colindantes (cubierta-piso) es igual a cero. De lo contrario, si una EV de fermentación colindara con una de conservación, esta última presentaría una variación térmica debida al calor transmitido por la EV de fermentación. Cuando una EV se apila sobre la cubierta de otra, no solamente se reduce el intercambio por conducción, sino también el intercambio por radiación y por convección.

La menor incidencia de esta medida en la QT se observa en la FL. Si bien los porcentajes de energía que transitan por la EV ($Q_{EDILICIA}$) son relevantes, en la totalidad de la carga dicha energía representa una minoría. Los estados de CV y CI son los más beneficiados con esta optimización, reduciendo al menos la mitad de las pérdidas y/o ganancias. Por supuesto que en la EV cuya superficie de cubierta es relevante (caso 1), es notoria la disminución de la QT, mientras que en cubiertas reducidas (caso 4) esta medida es menos eficaz.

2.4. ADOSAMIENTO DE PILETAS.

En la mayoría de los casos es posible adicionar una piletta, excepto en volúmenes curvos. Esta medida es efectiva en piletas cuyas paredes tienen gran superficie en relación al total y que están en contacto con el medio exterior. En la FL, los ahorros medios alcanzan el 2,1% (Tabla 6), mientras que en la conservación esta medida resulta muy beneficiosa. En el invierno la reducción promedio de la carga de frío es un 45,8% mayor que en verano. Esto se debe a que en el periodo estival las mayores cargas corresponden a las ganancias por radiación y convección, dado que la temperatura superficial de la envolvente adquiere temperaturas elevadas, las cuales aceleran la velocidad de tales intercambios.

CONCLUSIONES.

Verificando la confiabilidad de los instrumentos utilizados en este análisis semi-empírico y experimental, se lleva a cabo una comparación entre los porcentajes de reducción de la QT que ofrece cada medida de optimización de la EV. Se toma la variable $Q_{EDILICIA}$ para determinar la incidencia de cada medida en los diversos destinos de las EV (FL, CV y CI). La relevancia en la reducción de la carga a través de la cubierta tiene relación con la proporción de este elemento en el total de la superficie de envolvente expuesta al medio. Esto explica los elevados porcentajes de reducción en la CI para los Casos 1 y 5 (Tabla 5).

Se observa en la Figura 8 que las mayores optimizaciones provienen de apilar las EV, principalmente durante la CI. Este efecto tiene relación con la consecuente disminución de las pérdidas nocturnas por enfriamiento radiativo hacia el cielo diáfano de San Juan. En segundo lugar, entre las medidas pasivas más eficaces, el enterramiento de los muros de la EV promueve importantes reducciones en la QT, destacándose el caso de la FL y de la CV. En verano esta estrategia es altamente beneficiosa, dada la temperatura del terreno natural (26,6°C), - 4,5 K menor que la temperatura media exterior del aire. Asimismo, tanto esta medida como el adosamiento y el apilamiento de la EV constituyen estrategias que reducen las QT que inciden por efecto de la velocidad de las brisas sobre la superficie de la envolvente expuesta. Las QT también se reducen en estos casos debido a la menor temperatura superficial del elemento optimizado (pared o cubierta), la cual se estima en los rangos de temperatura de confort

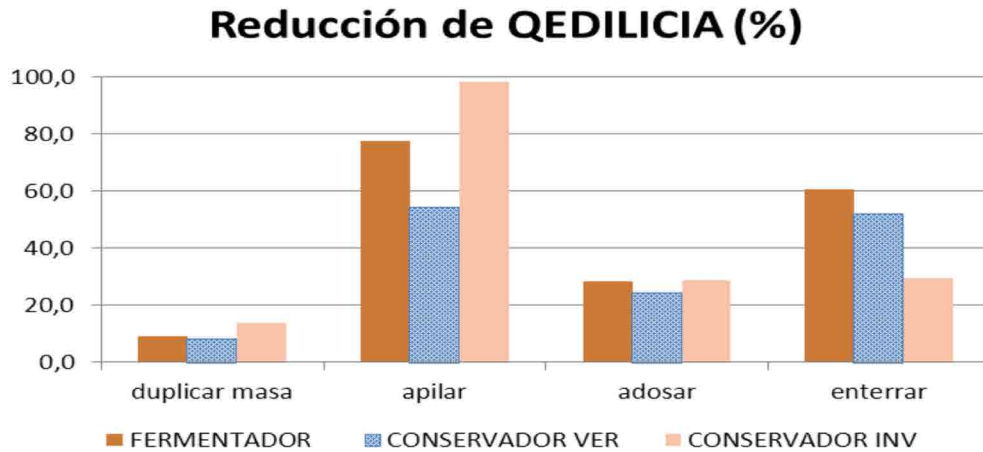


Figura 8: Porcentajes de reducción de $Q_{EDILICIA}$ en la fermentación y en la conservación en verano e invierno, mediante las optimizaciones modelizadas sobre los casos.

definidos para cada instancia.

Estas reducciones importantes de la QT en los procesos térmicos considerados (FL; CV; CI) indican que las configuraciones de bodegas con EV aglomeradas reducen significativamente la carga térmica asociada a la temperatura de confort del vino, especialmente en las instancias de conservación, en las cuales no existe generación de energía exotérmica. Tal configuración de las EV incrementa lo que puede llamarse *inercia del conjunto*, promoviendo una mayor resistencia térmica ante las variaciones climáticas del ambiente exterior.

(Ver Figura 8)

La inercia del conjunto no solamente se vale de la envolvente (muros, cubierta y piso), sino también del mosto-vino alojado en las EV. Este factor se define como la inercia del contenido y, ya que el vino comparte propiedades físicas con el agua, esta sustancia se caracteriza también por su gran inercia térmica. En una aglomeración de EV con gran contenido, se comprueba mediante el seguimiento con HOBBO que la variación térmica del vino es retardada hasta en una estación, notándose que el mismo tiende a alcanzar la temperatura media de invierno casi al llegar la primavera cuando la temperatura del aire comienza a ascender.

LISTADO DE ABREVIATURAS

EV	Envolvente de vinificación
DE	Demanda energética
FV	Fermentación violenta o rápida
FL	Fermentación lenta
CV	Conservación del vino en período cálido o verano
CI	Conservación del vino en período frío o invierno
M	Muestra

LISTADO DE SÍMBOLOS

QR	Carga de refrigeración
$Q_{EDILICIA}$	Carga de refrigeración transmitida por la envolvente
Q_r	Carga originada por efecto de la radiación solar
K	Coefficiente de transmitancia térmica
\dot{E}	Energía exotérmica, producida por la fermentación alcohólica
ΔT	Variación térmica horaria
h_e	Coefficiente superficial de intercambio térmico en el exterior de la EV
h_i	Coefficiente superficial de intercambio térmico en el interior de la EV

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. *ASHRAE Handbook Fundamentals*. Nueva York, Estados Unidos, 2007.

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN. *IRAM 11603: Clasificación bioambiental de la República Argentina*. Buenos Aires, 1996.

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN. *IRAM 11601: Aislamiento Térmico de edificios, métodos de cálculo*. Buenos Aires, 2002.

OREGLIA, Francisco. Cualidades de las levaduras e influencia del medio. En: *Enología Teórico-práctica*. Buenos Aires: Ediciones Instituto Seliciano de Artes Gráficas de Buenos Aires, 1978, pp.185-204.

PAPPARELLI, Alberto y DE ROSA, Carlos. *Arquitectura y Clima en Zonas Áridas*. San Juan, Argentina: Editorial Fundación Universidad Nacional de San Juan, 1998.

RAMOS SANZ, Alba y BLASCO LUCAS, Irene. Condiciones Higrotérmicas de Fermentación de Vinos comunes y finos de variedades blancas y tintas. *Revista AVERMA*, 2011, vol. 15, pp. 17-26.

PROPOSTA DE *RETROFIT* NA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL PARA UM PRÉDIO PÚBLICO: O CASO DO BLOCO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC

Artículo
Recibido 14-09-2014
Aceptado 04 -11-15

Artificial lighting retrofit proposal of a public building: the case of
postgraduate block on the Federal University of ABC

JULIÁN ALBERTO MARÍN AGUDELO, Universidad Federal ABC,
Santo André - São Paulo, Brazil
julian.marin@ufabc.edu.br

JESÚS FRANKLIN ANDRADE ROMERO, Universidad Federal ABC,
Santo André - São Paulo, Brazil
jesus.romero@ufabc.edu.br

IGOR FUSER, Universidad Federal ABC,
Santo André - São Paulo, Brazil
igor.fuser@ufabc.edu.br

RESUMO

Um dos principais desafios dos seres humanos é o fornecimento de energia para as grandes cidades e os seus edifícios, bem como a correta utilização do recurso disponível. Aumentar o ciclo de vida dos edifícios envolvendo processos de retrofit tecnológico deve permitir uma economia de custos, proporcionar conforto para os usuários das construções, e adicionalmente, minimizar o impacto sobre os recursos naturais. Nesta pesquisa, é apresentada uma proposta de retrofit focada na iluminação artificial de um edifício público, nesse sentido, um edifício localizado em Santo André, São Paulo, foi selecionado. O método experimental considera a caracterização da iluminação artificial no interior do edifício e, a partir de medições e simulações, propõe-se substituir a iluminação fluorescente de 16W com tecnologia LED de 10W. Os ambientes foram simulados utilizando os softwares Domus-Procel Edifica e DIALux para validar os resultados da eficiência energética e conforto visual pré e pós retrofit. O método de medição e verificação foi usado para determinar as economias de energia resultantes. Condições ótimas de conforto visual e reduções aproximadas de 37,5% na potência nominal exigida pela iluminação artificial no prédio foram obtidas. A simulação do estudo de caso confirma um melhor desempenho da edificação a respeito da eficiência energética.

Palavras-chaves

Retrofit, Iluminação Artificial, Eficiência Energética, Conforto Visual, Medição e Verificação.

ABSTRACT

One of the main challenges for human beings is the provision of energy to big cities and their buildings, as well as the correct use of the available resources. Increasing the life cycle of buildings that involve technological retrofit processes should enable cost savings, provide comfort for building users, and minimize the impact on natural resources. This research presents an artificial lighting retrofit proposal for a public building in Santo André, São Paulo. The experimental method evaluates the characterization of artificial lighting inside the building, and based on measurements and simulations, it is proposed that the 16W fluorescent lighting be replaced with 10W LED technology. The environments were simulated using Domus-Procel Edifica software and DIALux software was used to validate the energy efficiency and visual comfort results before and after retrofit. The measurement and verification method (M & V) was used to determine the resulting energy savings. Optimal visual comfort conditions and reductions of around of 37.5% of rated power required by artificial lighting in the building were obtained. The simulation case study confirms improved building performance with respect to energy efficiency.

Keywords

retrofit, artificial lighting, energy efficiency, visual comfort, measurement and verification.

INTRODUÇÃO

A incessante expansão urbana, o aumento da densidade populacional nas grandes metrópoles e a demanda crescente por eletricidade estão gerando consequências irreparáveis para nosso planeta (ONU, 2014). Durante as últimas três décadas, todas as emissões de gases de efeito estufa aumentaram em média de 1,6% por ano, e as emissões de CO₂ resultantes da utilização de combustíveis fósseis cresceram 1,9% para o mesmo período (ONU, 2014). Alterações climáticas, potencializadas devido ao aumento de emissões de gases do efeito estufa, podem resultar em cenários catastróficos para a humanidade (MORAES, 2011). Estima-se que a população mundial aumente nos próximos anos, atingindo 9.6 bilhões em 2050, o que exige um novo modelo de desenvolvimento (ONU, 2013).

O conceito de desenvolvimento sustentável foi abordado frontalmente na década de oitenta pelo relatório de *Brundtland* (ONU, 1987) no qual se fez uma reflexão sobre o alcance e a amplitude do conceito de sustentabilidade, o "Eco desenvolvimento" apresentado por Ignacy Sachs, no Congresso de *Founex* na Suíça (1971), teve grande influência nas definições apresentadas nestes relatórios (MACHADO, SILVA e MARQUES, 2005). O Desenvolvimento Sustentável é aquele que atende às necessidades humanas do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades (ONU, 1987). A sustentabilidade procura um equilíbrio entre o bem estar do ser humano e os impactos originados pela procura deste bem estar (DIETZ, ROSA e YORK, 2009).

Todas as pessoas envolvidas no desenvolvimento da construção civil, incluindo investidores, fabricantes, designers, arquitetos, engenheiros e usuários finais, devem ter consciência da importância que representa para a preservação do planeta a redução do impacto ambiental, causado pela construção e operação dos edifícios (ROCHA, 2011). O conceito de sustentabilidade não é fechado, alcançar uma sustentabilidade absoluta pode ser visto como uma ideia utópica (CORRÊA, 2009). Um projeto civil poderá adotar sempre soluções que diminuam seu impacto no meio ambiente, mas analisado sob outros aspectos poderá não ser plenamente sustentável. O conceito de construção sustentável além de muito abrangente envolve inúmeros fatores, dentre eles o uso correto da energia elétrica.

Atualmente, a temática da eficiência energética nas edificações está ligada na agenda dos governos, na forma de políticas de racionalização do consumo de energia e bens renováveis (DURANTE, et al., 2014). Aumentar o ciclo de vida dos edifícios envolvendo processos de *retrofit* tecnológico deve permitir uma economia de custos, melhorar o desempenho das construções, proporcionar conforto para os usuários, possibilitar a requalificação de áreas degradadas e adicionalmente, minimizar o impacto sobre os recursos naturais.

No Brasil, a Lei de Eficiência Energética 10.295/2001 prevê o estabelecimento de níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, para máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no Brasil, baseada em indicadores técnicos economicamente viáveis, considerando a vida útil dos mesmos (HADDAD, 2009; CARLO e LAMBERTS, 2010; EPE, 2014a).

O Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL) lançou o Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações PROCEL-Edifica em 2003. Já em 2012, o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), bem como seu desdobramento (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE) foram estabelecidos.

O Selo Procel Edificações é um instrumento de adesão livre, seu objetivo principal é identificar as edificações que oferecem melhores desempenhos, na Eficiência Energética, para uma dada categoria, motivando ao mercado consumidor para adquirir e utilizar imóveis mais eficientes. O selo pretende avaliar as características em termos de Eficiência Energética através de graduações (A - mais eficiente e E - menos eficiente) e deve-se tornar obrigatório no Brasil para o ano 2030 (PROCEL, 2014).

Um dos requisitos do processo de qualificação da eficiência de um edifício é o sistema de iluminação. Entende-se por um sistema de iluminação eficiente aquele que apresenta menor potência instalada e, conseqüentemente, menor consumo de energia, garantidas as condições adequadas de iluminação (DURANTE, et al., 2014). A iluminação é responsável de 5 a 15% do consumo total de energia elétrica nos países industrializados (RYCKAERT, et al., 2010), enquanto no Brasil, os sistemas de iluminação são responsáveis por aproximadamente 27% do consumo de energia em edificações (MME, 2013). Nesse sentido, o uso da energia por conta da iluminação artificial em edificações, pode ser reduzido substituindo as tecnologias de iluminação convencionais com lâmpadas mais eficientes (LI, LAM e WONG, 2010; HUANG, et al., 2010; KHAN e ABAS, 2011).

O termo *retrofit* focado na indústria da construção civil é o processo de modificar uma construção para melhorar seu desempenho, faz alusão às principais atividades de modernização desenvolvidas nas construções, que melhoram as instalações procurando o conforto dos usuários e praticidade na sua utilização. Este conceito arquitetônico vem a ser a busca pela coordenação da construção com o tempo presente, de modo a vitalizá-la com novas tecnologias, evitando que se torne obsoleta e permitindo que acompanhe o desenvolvimento tecnológico dos grandes centros urbanos (CIANCIARDI e BRUNA, 2004). O desenvolvimento e uso das novas tecnologias significam que os edifícios existentes e até mesmo os novos podem alcançar reduções significativas no consumo de energia e água (MELBOURNE GOVERNMENT, 2015).

Lâmpada	Potencia (W)	Fator de Potencia	Perdas (W)	CCT* (K)	BE**	Brilho	CRI***
Bulbo	25 - 1000	1	0%	2500 - 3000	Não	Sim	90 - 99
Tubo	20 - 40	0.6 - 0.8	12,50%	2500 - 6500	Sim	Sim	55 - 70
CFL	ago-36	0.4 - 0.6	6,25%	2500 - 6500	Sim	Sim	55 - 75
LED	5 - 400	0.4 - 0.7	4,25%	3500 - 5500	Não	Sim	70 - 80

Tabela 1: Características Técnicas das Tecnologias de Bulbo, Tubo, CFL e LED
*Correlated Color Temperature, ** Bio Effects, *** Sunlight color rendering index (CRI) = 100
Fonte: Khan e Abas 2011

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20-30-50	Áreas públicas com arredores escuros
	50-75-100	Orientação simples para permanência curta
	100-150-200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos.
	200-300-500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios.
B Iluminação geral para área de trabalho	500-750-1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios.
	1000-1500-2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.

Tabela 2: Iluminâncias por Classes de Tarefas Visuais
Fonte: ABNT 1992

As tecnologias para desenvolver um processo de *retrofit* podem ser categorizadas em três grupos: gestão da oferta, gestão da demanda e padrões de consumo de energia (MA, et al., 2012). Segundo Ma, et al., (2012), estratégias para reduzir a demanda por aquecimento e refrigeração, o uso de equipamentos com níveis considerados de eficiência energética e os sistemas de iluminação artificial, estão envolvidos no grupo de Gestão da Demanda. Estudos expostos em Ryckaert, et al., (2010); Li, Lam e Wong (2010); Huang, et al., (2010); Khan e Abas (2011); Ma, et al., (2012); Pereira (2012) apresentaram resultados satisfatórios em intervenções de *retrofit* focadas no grupo de Gestão da Demanda e os sistemas de iluminação artificial.

Uma análise de custo-qualidade das diferentes tecnologias de iluminação artificial (Bulbo, Tubo, CFL¹, LED²) exposto em Khan e Abas (2011), apresentam que a tecnologia LED é mais eficaz, considerando o preço por kWh nos Estados Unidos, preço das lâmpadas e o desempenho das tecnologias. Na Tabela 1, é apresentada uma comparação das diferentes tecnologias mencionadas anteriormente com as características técnicas de cada uma.

Benefícios da tecnologia LED como o uso de menor diâmetro nos fios de cobre e retornos de investimento em apenas dois anos, também são apresentados por Wu et al., (2009), onde foram utilizados sistemas de iluminação para estradas, com base na tecnologia LED. Em Hinnells (2008), apresenta-se um estudo das tecnologias para a redução do consumo de energia nos edifícios, incluindo a iluminação LED, já em Huang, et al., (2010), são apresentados desenvolvimentos em sistemas de iluminação fotovoltaica de alto desempenho baseados na tecnologia LED.

De acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), cada ambiente de trabalho requer um determinado nível de iluminância ideal, esse nível varia de acordo com as atividades a serem ali desenvolvidas. Na Tabela 2, são apresentados os níveis de iluminação recomendados pela NBR-5413/91 para as diferentes classes de tarefas visuais comuns.

Este artigo tem por objetivo geral apresentar e avaliar uma proposta de *retrofit* focada na iluminação artificial de um edifício público.

[1] Compact fluorescent lamp
[2] Light Emitting Diode

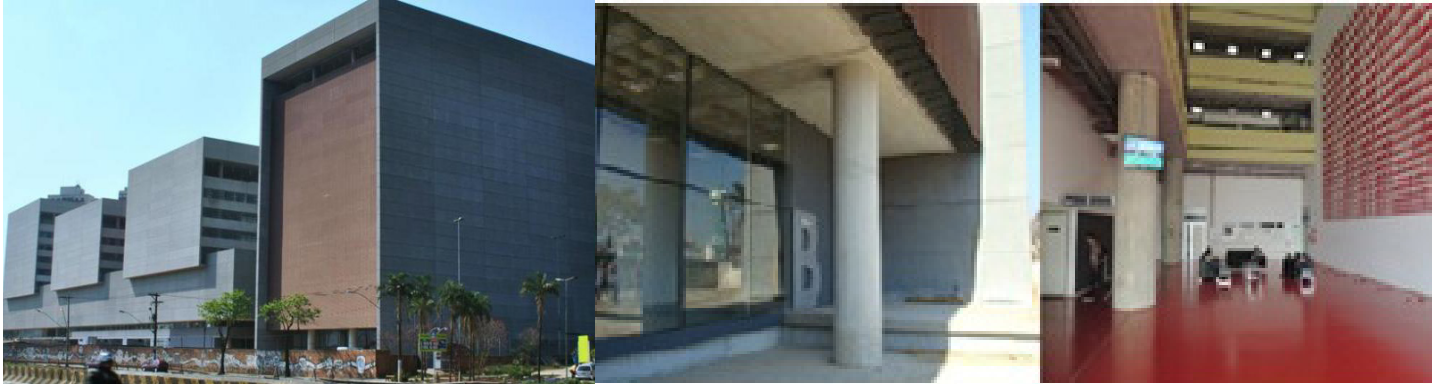


Figura 1: Bloco B UFABC - Santo André
Fonte: LIBESKINDLLOVET ARQUITETOS; MADEIRA e NETO 2014

2. MATERIAIS E MÉTODO

O método experimental considerou a caracterização da iluminação artificial no interior de Bloco B de pós-graduação da Universidade Federal do ABC (UFABC), em Santo André/SP. O terreno principal onde ocorre atualmente a implantação do campus Santo André da Universidade Federal do ABC localiza-se entre as coordenadas geográficas 46°31'34"W e 46°31'49"W de longitude e 23°38'35"S e 23°38'45"S de latitude. O empreendimento escolhido como caso de estudo, exposto na Figura 1, é destinado ao ensino público superior e tem uma área construída de aproximadamente 13.000 m² (Figura 1).

Desde a sua idealização até hoje, com oito anos de funcionamento, a UFABC já passou por uma série de mudanças de projeto. O Bloco B no campus de Santo André, primeiro prédio a ficar pronto da universidade, foi inicialmente projetado para moradia estudantil (UFABC, 2006), mas o crescimento acelerado da população estudantil ocasionou mudanças no projeto. Nesse sentido, algumas exigências importantes acabaram ficando para trás e atualmente o bloco é composto por de salas de estudo e escritórios para os funcionários dos programas de pós-graduação da UFABC.

Além de sua utilização não preconcebida, a seleção desta edificação se justifica pelo fato de que atualmente, a iluminação interna no Bloco B consta de lâmpadas fluorescentes tubulares, que embora possuam a vantagem de ter boa eficiência luminosa e baixa luminância (UFABC, 2015a), uma proposta de *retrofit* baseada na substituição para lâmpadas tubulares tipo LED, poderia gerar melhores resultados em relação à eficiência energética do edifício.

Os resultados serão estimados a partir de medições e simulações nos cenários de pré e post *retrofit*, as possíveis economias de energia devida à implementação da proposta serão expostos.

Na Tabela 3 são apresentados os dados correspondentes aos consumos de energia elétrica no Bloco B para o ano 2013.

As dimensões do Bloco B são apresentadas na Tabela 4.

Atualmente no Bloco B são utilizados tubos fluorescentes de 16W e 127V, entende-se que uma luminária refere-se ao conjunto de quatro tubos fluorescentes de 16W. A distribuição por andares, da potência de iluminação e dos outros equipamentos, além da quantidade de m² por pessoa são apresentados na Tabela 5.

Propõe-se substituir os tubos fluorescentes T8 de 16W com tubos LED de 10W. Apresentam-se na Tabela 6 as informações técnicas das lâmpadas fornecidas pelo fabricante Phillips (2015).

Com a proposta de *retrofit* feita, a distribuição do consumo de iluminação no Bloco B é apresentada na Tabela 7.

O software Domus-Procel Edifica e os dados apresentados foram usados para executar as simulações dos consumos de energia pré e pós *retrofit* no edifício. Para determinar as economias de energia resultantes da aplicação da proposta, foi utilizado o método de medição e verificação (M&V) exposto em EVO (2010), o objetivo principal do método proposto é determinar a economia de energia real devido à implantação e implementação de medidas de modernização (EVO, 2010).

Mês	Consumo (kWh)	Período
Janeiro	368081,70	18/12/12-17/01/13
Fevereiro	466698,54	17/01/13-19/02/13
Março	491135,41	19/02/13-20/03/13
Abril	394104,48	20/03/13-18/04/13
Maior	428254,05	18/04/13-20/05/13
Junho	411012,84	20/05/13-19/06/13
Julho	391865,04	19/06/13-19/07/13
Agosto	412267,17	19/07/13-19/08/13
Setembro	441691,74	19/08/13-18/09/13
Outubro	427660,38	18/09/13-18/10/13
Novembro	450162,72	18/10/13-19/11/13
Dezembro	463536,36	19/11/13-18/12/13
Total	5146470,42	

Tabela 3: Consumo Energia Elétrica Bloco B UFABC - Santo André
Fonte: UFABC 2014

Lâmpada	Potencia (W)	Fator de Potencia	Perdas (W)	CCT* (K)	BE**	Brilho	CRI***
Bulbo	25 - 1000	1	0%	2500 - 3000	Não	Sim	90 - 99
Tubo	20 - 40	0,6 - 0,8	12,50%	2500 - 6500	Sim	Sim	55 - 70
CFL	ago-36	0,4 - 0,6	6,25%	2500 - 6500	Sim	Sim	55 - 75
LED	5 - 400	0,4 - 0,7	4,25%	3500 - 5500	Não	Sim	70 - 80

Tabela 4: Dimensões Bloco B UFABC - Santo André
Fonte: UFABC 2006

	Quantidade luminárias		Total W	W por piso	Área Útil por piso m ²	Ocupação média	Potencia Iluminação por piso W/m ²
	Suspensa	Embutida					
	250W	64W					
Ático	36	146	18216	18216	1260,82	20	14,84
Piso 1-10		3070	196480	19648	1260,82	100	16
Térreo		204	13056	13056	1260,82	30	10,63

Tabela 5: Distribuição Potência Iluminação Bloco B UFABC - Santo André
Fonte: MADEIRA e NETO 2014; UFABC 2006

Características	Tubo Fluorescente T8	Tubo LED T8
Potência	16W	10W
Vida Mediana	15	40
Temperatura de cor	4000K	4000K
Fluxo Luminoso	1070 Lm	825 Lm
Base	G13	G13
Economia de Energia		38%

Tabela 6: Proposta Substituição de Lâmpadas
Fonte: PHILIPS 2015

	Quantidade luminárias		Total W	W por piso	Área Útil por piso m ²	Ocupação média	Potencia Iluminação por piso W/m ²
	Suspensa	Embutida					
	250W	40W					
Ático	36	146	14840	14840	1260,82	20	7.1+4.6=11.77
Piso 1-10		3070	122800	12280	1260,82	100	9,74
Térreo		204	8160	8160	1260,82	30	6,47

Tabela 7: Distribuição Potência de Iluminação pós-retrofit
Fonte: Elaborado pelo autor

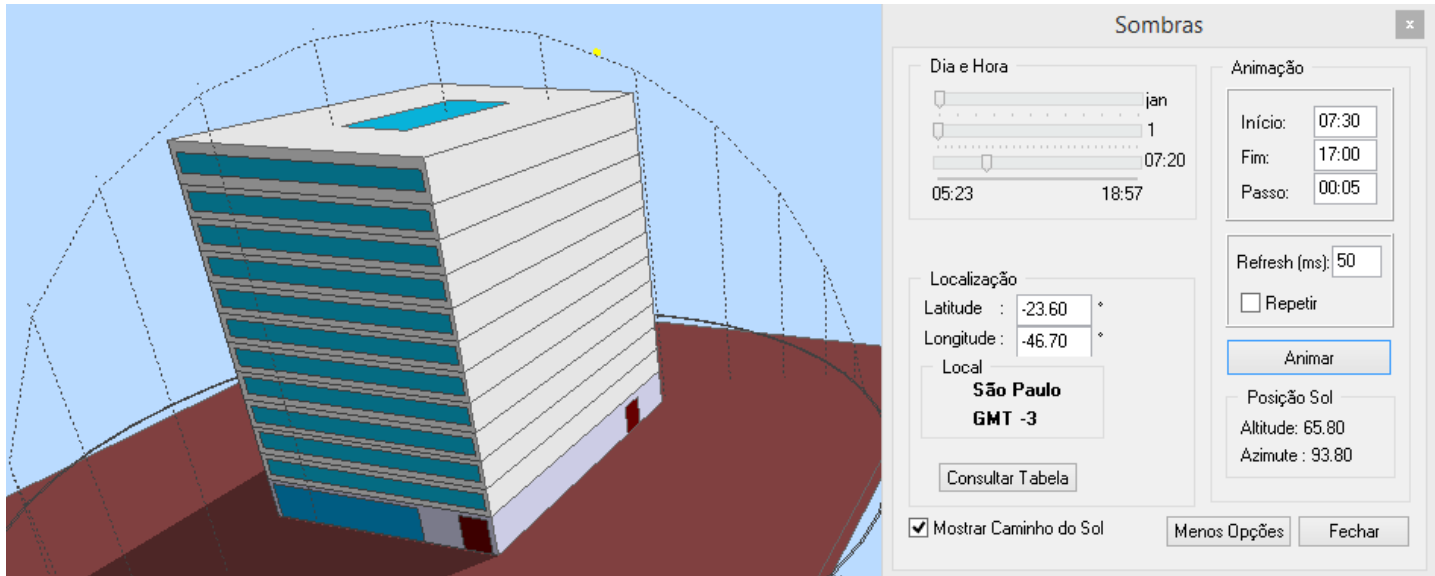


Figura 2: Design Estudo de Caso Simulador Domus
Fonte: Relatório Simulador Domus

A equação número 1 permite ver o cálculo para obter a economia de energia.

$$E_{\text{saving}} = E_{\text{pre-retrofit}} - E_{\text{post-retrofit}} \pm E_{\text{adjust}} \quad (1)$$

Onde E_{saving} é a economia de energia; $E_{\text{pre-retrofit}}$ é o consumo de energia medido por um período de tempo definido antes da modernização, $E_{\text{post-retrofit}}$ é o consumo de energia medido por um período de tempo após da modernização; E_{adjust} a diferença entre o uso de energia no período de pré e pós *retrofit*, causada por diferenças de fatores não energéticos, tais como as condições meteorológicas, horários de ocupação, entre outros.

3. MÉTODO DE SIMULAÇÃO

O *software* Domus-Procel Edifica de simulação computacional foi utilizado para ver a qualificação da eficiência energética do Bloco B. Para o design do prédio apresentado na Figura 2, às configurações construtivas do prédio, os consumos de energia e média de ocupação, foram utilizados os dados expostos nas Tabelas 4 e 5.

Também as seguintes informações foram usadas na configuração do cenário de simulação:

Período de tempo simulado entre às 00h00min do dia 01/01/2013 às 23h00min do dia 31/12/2013.

Acionamento das luminárias para períodos de tempo entre 06h00min e 24h00min e em todos os dias da semana.

O simulador tem em seu banco de dados um arquivo com os dados climáticos e de temperatura para várias cidades brasileiras, o arquivo climático conta com as características do programa UMIDUS. Neste caso foi usada como referência a cidade de São Paulo.

Os dados dos consumos de energia por outros tipos de equipamentos, para resfriamento e por elevadores foram obtidos de Marín-Agudelo (2015).

3.1. ECONOMIA DE ENERGIA DO CENÁRIO PÓS-RETROFIT EM RELAÇÃO AO CENÁRIO PRÉ-RETROFIT.

Segundo os dados expostos na Tabela 7, o Bloco B tem cerca de 3.420 luminárias de 64W cada uma, por sua vez, cada luminária tem 4 lâmpadas fluorescentes de 16W, ou seja, atualmente há pelo menos 855 tubos fluorescentes instalados. No mercado brasileiro e segundo os dados apresentados pelos fabricantes OSRAM (2015) e Phillips (2015), uma lâmpada fluorescente de 16W tem um preço aproximado de R\$ 8,50 e para a lâmpada LED aproximadamente R\$ 40,00.

Utilizando um padrão de tempo de operação entre as 06h00min e as 24h00min, ou seja, 18 horas de uso diário e um preço variável para o kWh segundo as informações apresentadas pela ELETROPAULO (2015), UFABC (2014) e Marín-Agudelo (2015), foram calculadas as potenciais economias de energia no prédio para um ano. Os resultados são apresentados na Tabela 8.

	Iluminação Fluorescente	Iluminação LED
Vida útil (dias)	830	2223
Substituição das lâmpadas (R\$)	7367,5	34200
Consumo Energia por dia (kWh)	246,24	153,9
Consumo Energia Ano (kWh)	89877,6	56173,5
Custo Consumo Energia Ano (R\$)	24266,9	15166,8
Potência Nominal (W)	13680	8550

Tabela 8: Relação Custo/Consumo das tecnologias para as lâmpadas do tipo Fluorescente e LED considerando o ano de 2013
Fonte: Elaborado pelo autor

Ano	Consumos por conta da Iluminação Fluorescente (R\$)	Consumos por conta da Iluminação LED (R\$)
1	39723,436	54422,46
2	31457,16	19660,725
3	31634,452	15166,845
4	21570,624	13481,64
5	46014,868	24154,605
6	40444,92	25278,075
7	49609,632	26401,545
8	44040,024	27525,015
9	53204,746	28648,485
10	47635,128	29771,955
Total	405334,99	264511,35

Tabela 9: Demanda Econômica para 10 anos com Tubos Fluorescentes e LED
Fonte: Elaborado pelo autor

Conceito	Consumo kWh	Porcentagem
Iluminação	1984192,43	41,71%
Equipamentos	1646478,04	34,61%
Resfriamento	239423,66	5,03%
Elevadores	886950	18,64%
Consumo Total	4757044,13	100%

Tabela 10: Crescimento anual no preço do kWh período 2011-2020
Fonte: Marín-Agudelo 2015

A substituição das luminárias representa uma diminuição de 5.130W na potência nominal da iluminação no Bloco B, o que vai significar uma redução aproximada de 37,5% na potência nominal exigida pela iluminação artificial. Na Tabela 9, são apresentados os resultados aproximados da economia para um período de 10 anos, para cada uma das tecnologias. Para os cálculos foram omitidos os custos da manutenção assim como o investimento em reatores, pois a tecnologia LED não necessita reatores para seu funcionamento.

Os resultados, acrescentando o consumo de energia e o valor das lâmpadas, apresentam economias aproximadas de R\$ 140.000,00.

Utilizando parâmetros expostos na Tabela 8 tais como a vida útil das lâmpadas, o valor das mesmas e o custo de energia por ano para cada uma das tecnologias, é apresentada a

Figura 3. O preço do kWh por ano é apresentado na Tabela 10, os valores foram obtidos de acordo com os cálculos apresentados no anexo D exposto em Marín-Agudelo (2015).

Pode-se ver que, inicialmente, teria um impacto econômico maior a utilização da tecnologia de LED, no entanto, a partir do segundo ano, a tecnologia LED apresenta-se como a melhor opção.

As lâmpadas fluorescentes, de acordo com a sua vida útil, teriam que ser substituídas na sua totalidade, aproximadamente cada dois anos, o que explica o comportamento do gráfico depois do quinto ano. A primeira substituição da tecnologia LED, de acordo com a sua vida útil, teria lugar entre o quarto e o quinto ano.

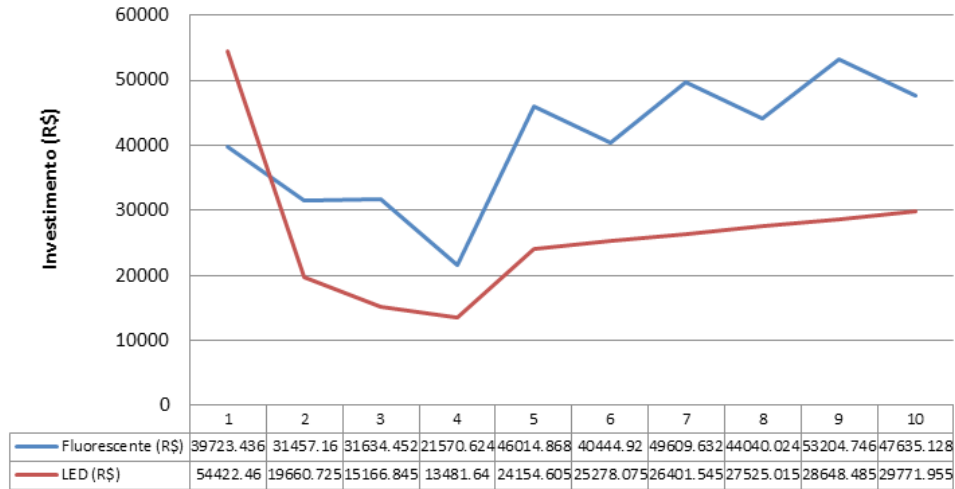


Figura 3: Retorno do Investimento ROI
Fonte: Elaborado pelo autor

3.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE ILUMINAÇÃO NO BLOCO

Os dados dos consumos totais obtidos a partir da simulação *pré-retrofit* indicam que o consumo no bloco, dependente da iluminação artificial foram 1.984.192,43 KWh. Os dados dos consumos totais obtidos a partir da simulação *pós-retrofit* indicam que o consumo no bloco, dependente da iluminação artificial foram 1.620.012,58 KWh. Os resultados das simulações *pré-retrofit* e *pós-retrofit* são apresentados na Tabela 11.

As economias expostas a partir da simulação *pós-retrofit* devem-se à proposta de *retrofit* apresentada. Nesse sentido, aplicou-se a equação de M&V exposta em EVO (2010) para determinar a economia de energia.

A equação para obter a economia de energia e os resultados para o estudo de caso é:

$$E_{\text{saving}} = E_{\text{pré-retrofit}} - E_{\text{pós-retrofit}} \pm E_{\text{adjust}}$$

A onde:

$$\begin{aligned} E_{\text{pré-retrofit}} &= 1.98(\text{GWh}) \\ E_{\text{pós-retrofit}} &= 1.62(\text{GWh}) \\ E_{\text{adjust}} &= 0 \end{aligned}$$

Então:

$$\begin{aligned} E_{\text{saving}} &= 1.98(\text{GWh}) - 1.62(\text{GWh}) \pm 0 \\ E_{\text{saving}} &= 0.36(\text{GWh}) - 360.000(\text{kWh}) \end{aligned}$$

De acordo com a comparação dos dados *pré* e *pós retrofit*, é possível obter economias de até 7,5% respeito ao consumo de energia de iluminação artificial no prédio.

3.3 CÁLCULOS FLUXO LUMINOSO COM LÂMPADAS LED NA SALA DE ESTUDO BLOCO B

Para o cálculo do fluxo luminoso das lâmpadas propostas no cenário *pós-retrofit* foi utilizado o *software* de simulação DIALux.

A Figura 4 apresenta o design feito do salão 307 localizado no terceiro andar do Bloco B da UFABC. Os postos de trabalho foram feitos para uma altura de 0,8 m acima do nível do chão, sua distribuição e a distribuição das luminárias é apresentada na mesma figura.

Os pontos de medição para determinar a iluminância média foram calculados pelo mesmo *software*. As medições das intensidades luminosas (a), as linhas isográficas com a potência luminosa vertical (b) e a o gráfica de cores falsas (c) obtidas com ajuda do *software* DIALux para salão 307, são apresentadas na Figura 5.

A iluminância fornecida pelas lâmpadas LED propostas, apresenta um valor médio de 1.349lx para uma sala no estudo de caso, desempenho acima dos 500lx recomendados pela NBR-5413/91.

Conceito	Consumo kWh	Porcentagem
Iluminação	162012,58	36,88%
Equipamentos	1646479,07	37,48%
Resfriamento	238747,68	5,43%
Elevadores	886950	20,19%
Consumo Total	4392189,33	100%

Tabela 11: Consumo de Energia de Iluminação pré e pós retrofit
Fonte: Relatório Simulador Domus

DIALux



Altura do plano de uso: 0.800 m , Zona marginal: 0.000 m

Resultado	Meio (Nominal)	Min	Máx	Mín/Médio	Mín/ Máx
Potência luminosa vertical [lx]	1359 (500)	78	7234	0.057	0.011

Perfil: Instituciones de formación - Centros de formación, Aulas para clases nocturnas y formación para adultos

Figura 4: Plano Simulação Sala de Estudo Bloco B UFABC - Santo André
Fonte: Relatório Simulador DIALux

CONCLUSÕES

A recuperação, a manutenção e a restauração de edifícios são ferramentas de sustentabilidade válidas que procuram a maximização do ciclo de vida dos edifícios existentes. O retrofit não está limitado somente às edificações antigas e degradadas, é completamente válido o aperfeiçoamento no desempenho de prédios relativamente novos.

As práticas de retrofit focadas na eficiência energética dos sistemas de iluminação artificial, além de ser um meio ambientalmente importante, apresentam-se como uma opção para obter economias de custos e energia.

A mudança de tecnologia na iluminação artificial do Bloco B na UFABC, representou uma redução aproximada de 37,5% no consumo anual de energia, com uma diminuição de 5.130W na potência nominal da iluminação.

Cálculos da demanda econômica por conta da iluminação artificial, para um período de 10 anos, apresentam economias aproximadas de R\$ 140.000,00.

A iluminância fornecida pela alteração das lâmpadas representou um valor médio de 1.349lx para uma sala utilizada no estudo de caso, os resultados de desempenho das lâmpadas LED propostas apresentam resultados

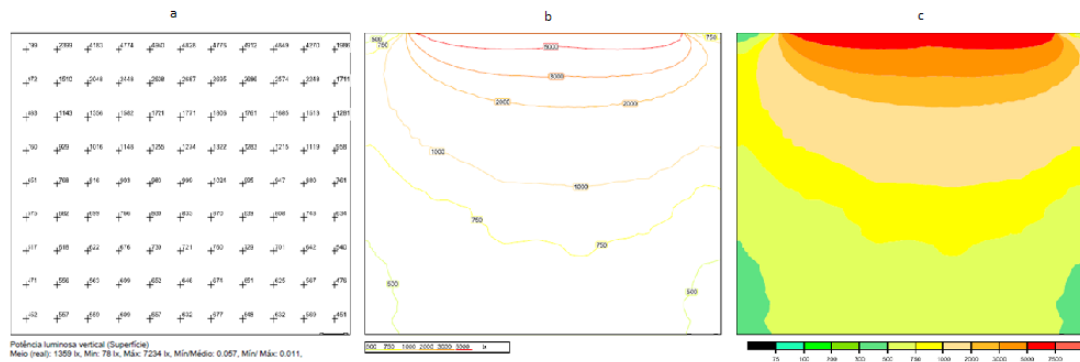


Figura 5: Resultados desempenho iluminacao DIALux
Fonte: Relatório Simulador DIALux

adequados e de conformidade com os níveis de iluminação recomendados pela NBR-5413/91.

O tempo de vida das lâmpadas propostas promove uma redução na quantidade de resíduos gerados pelo edifício, o conforto visual simulado garante uma qualidade agradável nos níveis de iluminância fornecida pela iluminação artificial e bem estar para os usuários; a economia de custos gerada pela eficiência energética e a diminuição na manutenção das lâmpadas podem gerar oportunidades de investimento na UFABC.

Agradecemos à Universidade Federal do ABC – UFABC e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

BIBLIOGRAFIA

ABNT. *Iluminância de interiores, NBR 5413*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 13. 1992.

CARLO, J.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios - parte 1: método prescritivo. *Ambiente Construído*, v. 10, n. 2, p. 7-26, 04/06 2010.

CIANCIARDI, G.; BRUNA, G. C. Procedimentos de sustentabilidade ecológicos na restauração dos edifícios citadinos. *Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Mackenzie*, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 113-127, 2004.

CORRÊA, R. L. *Sustentabilidade na construção civil*. (Monografia) Escola de Engenharia UFMG. Belo Horizonte, p. 10-67. 2009.

DIETZ, T.; ROSA, E.; YORK, R. Environmentally efficient well-being: rethinking sustainability as the relationship between human well-being and environmental impacts. *Human Ecology Review*, v. 16, n. 1, p. 114-123, 2009.

DURANTE, L. C. et al. Sistema de iluminação integrada em edificação lat 15 sul e potencial de uso de geração fotovoltaica. *Revista Hábitat Sustentable*, Concepción, v. 4, n. 2, p. 04-15, Diciembre 2014.

EPE. *Consumo de Energia no Brasil Análises Setoriais*. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, p. 14-25. 2014a. (Nota Técnica DEA 10/14.).

EVO. *International Performance Measurement & Verification Protocol*. Efficiency Valuation Organization. Washington, DC, USA. 2010. (1).

HADDAD, J. *Possíveis avanços para a eficiência energética no Brasil e como a regulação pode contribuir para seu aprimoramento*. VI Congresso brasileiro de regulação. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2009. p. 22.

HINNELLS, M. Technologies to achieve demand reduction and microgeneration in buildings. *Energy Policy*, v. 36, n. 12, p. 4427–4433, dez. 2008.

- HUANG, B. et al. Development of high performance solar LED lighting system. *Energy Convers Management*, v. 51, n. 8, p. 1669–1675, ago. 2010.
- KHAN, N.; ABAS, N. Comparative study of energy saving light sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 1, p. 296–309, jan. 2011.
- LI, D. H. W.; LAM, T. N. T.; WONG, S. L. An analysis of energy-efficient light fittings and lighting controls. *Applied Energy*, v. 87, n. 2, p. 558–567, fev. 2010.
- LIBESKINDLLOVET ARQUITETOS. Libeskindllovet Arquitetos, 2006. Disponível em: <<http://la.arq.br/>>. Acesso em: 23 abr. 2015.
- MA, Z. et al. Existing building retrofits: methodology and state of the art. *Energy and Buildings*, v. 55, p. 889-902, dez. 2012.
- MACHADO, R. X.; SILVA, J. D. D. S.; MARQUES, N. B. *A concepção de desenvolvimento sustentável*. Universidade Regional UNIJUÍ. Ijuí, Rio Grande do Sul, p. 1-15. 2005.
- MADEIRA, G.; NETO, D. N. *Estudo de impacto de vizinhança*. UFABC. Santo André, p. 170. 2014.
- MARÍN-AGUDELO, J. *Avaliação de uma proposta de retrofit baseada em indicadores sustentáveis utilizados nas metodologias AQUA e LEED: O caso do Bloco de pós-graduação da Universidade Federal do ABC (UFABC)*. Universidade Federal do ABC UFABC. Santo André - SP, p. 139. 2015.
- MELBOURNE GOVERNMENT. 1200 buildings, What is a building retrofit? *City of Melbourne*, 2015. Disponível em: <<http://www.melbourne.vic.gov.au/1200buildings/what/Pages/WhatIsRetrofit.aspx>>. Acesso em: 15 jan. 2015.
- MME. Ministério de minas e energia, Brasil, 2013. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme>>. Acesso em: 2 dez. 2013.
- MORAES, P. R. D. B. *Análise do desenvolvimento de indicadores para a avaliação de sustentabilidade de edifícios brasileiros*. (Dissertação de Mestrado) Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 199. 2011.
- ONU. *Relatório Brundtland*. Conferência Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Organização das Nações Unidas. Nueva York: [s.n.]. 1987.
- ONU. *World population prospects: the 2013 revision, highlights*. United Nations. New York, 2013.
- ONU. Organização das Nações Unidas, 2014. Disponível em: <<http://www.un.org/>>. Acesso em: 8 set. 2014.
- PEREIRA, D. A. D. M. *Análise e melhoramento do conforto lumínico de um bloco educacional público*. VIII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Nitéroí: [s.n.]. 2012. p. 2-15.
- PHILIPS. Philips, 2015. Disponível em: <<http://www.ecat.lighting.philips.com.br/>>. Acesso em: 25 maio 2015.
- PROCEL. Centro brasileiro de informação de eficiencia energética, 2014. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br>>. Acesso em: 2 ago. 2014.
- ROCHA, E. T. Construcciones sostenibles: materiales, certificaciones y LCA1. *Revista nodo*, Bogotá, v. 6, n. 11, p. 99-116, nov. 2011.
- RYCKAERT, W. R. et al. Criteria for energy efficient lighting in buildings. *Energy and Buildings*, v. 42, n. 3, p. 341–347, mar. 2010.
- UFABC. *Projeto arquitetônico UFABC: Campus Santo André*. Universidade Federal do ABC. Santo André, p. 210. 2006.
- UFABC. *Registro de consumo de energia elétrica e água da UFABC: Campus Santo André*. Universidade Federal do ABC, Prefeitura Universitária. Santo André, p. 20. 2014.
- UFABC. Plano de Gestão de Logística Sustentável UFABC, 2015a. Disponível em: <http://www.ufabc.edu.br/index.php?option=com_content&view=article&id=9314>. Acesso em: 28 jul. 2015.
- WU, M. et al. Economic feasibility of solar powered LED roadway lighting. *Renew Energy*, v. 34, n. 8, p. 1934–1938, ago. 2009.

APLICABILIDAD DE ESTRATEGIAS GENÉRICAS DE DISEÑO PASIVO EN EDIFICACIONES BAJO LA INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CONCEPCIÓN Y SANTIAGO, CHILE

Artículo
Recibido 31-08-2015
Aceptado 24-11-2015

Applicability of generic passive design strategies in buildings under the influence of Climate Change in Concepción y Santiago, Chile

CARLOS RUBIO-BELLIDO, Universidad de Sevilla,
Sevilla, España, carlosrubio@us.es

JESÚS ALBERTO PULIDO-ARCAS, Universidad de la Prefectura de
Shiga, Hikone, Japón, jesus.a.pulido@gmail.com

MARÍA URETA-GRAGERA, Universidad de Sevilla,
Sevilla, España, mariaug@hotmail.com

RESUMEN

Las estrategias de diseño pasivo en arquitectura y el comportamiento energético de la edificación normalmente se cuantifican en base a archivos climáticos que, por lo general, no consideran las predicciones del clima. Este artículo profundiza en la generación de datos climáticos futuros y su influencia en el confort higrotérmico, así como en las estrategias de diseño arquitectónico genéricas de adaptación desde el punto de vista pasivo. Con ese fin, se han generado determinados escenarios climáticos para Concepción y Santiago, dos de las conurbaciones urbanas más pobladas de Chile, para los años 2020, 2050 y 2080. Las predicciones se han realizado para el escenario más extendido de emisiones de Gases de Efecto Invernadero GEIA 2 "medium-high", según el Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. Los niveles de confort se han examinado desde una perspectiva adaptativa, considerando estrategias de diseño genéricas, ambos modelos recogidos en la ASHRAE. Al analizar los pronósticos climáticos con los modelos de confort, se obtienen resultados para una mejor comprensión del grado de adaptación del usuario y la arquitectura al posible clima futuro. Esta investigación genera estrategias genéricas para optimizar el diseño de construcciones en Chile.

Palabras clave

Cambio climático, confort térmico, confort adaptativo, estrategias de diseño pasivo

ABSTRACT

Passive design strategies in architecture and building performance are normally quantified based on weather files that do not generally consider weather forecasts. This paper investigates the generation of future weather data and its influence on hygrothermal comfort, as well as the applicability of generic passive design strategies. To this end, climate scenarios were generated for Concepción and Santiago, two of the most highly populated conurbations in Chile, for the years 2020, 2050 and 2080. Predictions were produced for the most extensive greenhouse gas emissions scenario, GEIA 2 or "medium-high", according to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Comfort levels were analysed using an adaptive approach and considering generic design strategies, both of which are included in ASHRAE standards. Upon analysing the weather forecasts with comfort models, results were obtained that provide a better understanding of the degree of adaption of both the users and the architecture to the possible future climate. This research creates generic strategies to optimize the design of buildings in Chile.

Keywords

Climate change, thermal comfort, adaptive comfort, passive design strategies

1. INTRODUCCIÓN.

Las predicciones sobre escenarios climáticos, la adaptación de la arquitectura y los usuarios a ellos, se postula, aunque con diversas incertidumbres (Schiermeier, 2010), como uno de los focos principales de investigación y desarrollo en el ámbito científico. Desde la creación del Intergovernmental Panel on Climate Change en 1988, que recientemente ha publicado su Quinto Informe de Evaluación (IPCC, 2014), numerosos son los estudios que consideran el calentamiento global, el aumento de las emisiones y la escasez de recursos. En esta línea, se han generado modelos de predicción para diversos escenarios climáticos (Jentsch, Bahaj y James, 2008). La mayoría de dichos modelos se han producido en Reino Unido -por diversas razones (Mylona, 2012)-, aunque comienzan a extenderse cada vez más a lo largo del marco internacional (Guan, 2009). Actualmente, de los múltiples escenarios IPCC, se ha trabajado en los B1, B2, A2 y A1FI, siendo el A2 "medium-high", el modelo de emisiones más frecuentemente empleado.

En Chile, un país con diversos climas, según Norma Chilena Oficial NCh 1079.Of2008, por su extensión y orografía, el impacto del cambio climático es un tema crucial para fomentar el desarrollo sustentable de sus ciudades y su arquitectura. Los comprometidos fenómenos naturales a producirse por este calentamiento global, han sido ampliamente estudiados desde el Ministerio de Medio Ambiente, creando el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (Oficina de Cambio Climático, 2014) y variadas han sido las implicaciones de la comunidad científica para estos supuestos futuros (Eriksen et al., 2011).

Desde el punto de vista del sector de la edificación en Chile, numerosos han sido también los criterios de diseño pasivo. Los actuales Términos de Referencia Estandarizados TDR, Control Ambiental y Eficiencia Energética, aunque se centran en edificaciones terciarias, se han orientado hacia la adaptación climática y un mejor entendimiento del medio. En este tema, que se aborda de forma intensa en la actualidad (Robert and Kummert, 2009), el conocimiento de posibles escenarios climáticos cambiantes puede permitir prever una mejor comprensión de la adaptación climática, y así reducir los recursos y conseguir niveles aceptables de confort, entendiendo este último término como parámetro psicofísico que atiende a una relación entre ser humano, arquitectura y hábitat que se ha decantado de forma particular en cada cultura, sociedad y clima (Givoni, 1969).

2. OBJETIVO, MATERIALES Y METODOLOGÍA.

El objetivo principal de esta investigación es conocer los niveles de confort higrotérmico y las estrategias de diseño genéricas a aplicar en la arquitectura para futuros escenarios, teniendo en cuenta la acción del cambio climático. Los casos de estudio se centran en las áreas urbanas de Concepción y Santiago, dos de las más pobladas de Chile. Con el fin de cumplir este objetivo se ha desarrollado la siguiente metodología:

Para la obtención de los escenarios climáticos se han tomado los archivos climáticos disponibles (U.S. Department of Energy) Energy Plus Weather EPW, para Concepción y Santiago, provenientes del formato International Weather for Energy Calculations IWECC de ASHRAE. Las predicciones se han realizado considerando la idoneidad del modelo UK Met Office Hadley Centre Coupled Model 3 HadCM3 (Met Office), que contempla la combinación de las pautas A2a, A2b y A2c. Mediante el programa CCWorldWeatherGen (ídem), basado en los estudios de Belcher, Hacker y Powell (2005), el escenario de emisiones GEI A2 y los archivos EPW actuales, se obtienen mediante "morphing" los archivos climáticos para los años 2020, 2050 y 2080.

Los niveles de confort se han analizado cruzando los datos climáticos con dos modelos que reportan diferentes análisis basados en los 8760 datos horarios obtenidos para cada fecha y localización. Ambos se ejecutan desde el programa Climate Consultant 6.0 (Energy Design Tool UCLA) de la Universidad de California Los Ángeles UCLA y se basan en diagramas psicrométricos directamente relacionados con las variables climáticas. El primer modelo se basa en el confort adaptativo ASHRAE Standar 55-2013 (ASHRAE, 2013), fundamentado en los estudios de Humphreys y Nicol (2000), que tiene en cuenta espacios que están ventilados de forma natural. En estos espacios el usuario puede abrir y cerrar los huecos, por lo que las condiciones interiores dependen del clima exterior. Este modelo persigue establecer el porcentaje del año en el que las condiciones son confortables dentro de unos márgenes en los que el usuario puede adaptar su forma de vestir al clima. De esta forma, podemos estimar el porcentaje de horas anuales en las que el usuario puede sentir confort al interactuar con el medio en futuros escenarios. El segundo se sustenta en el modelo de confort ASHRAE Handbook of Fundamentals (ASHRAE, 2005), también conocido como modelo del voto predictivo medio (PMV), el cual, basado en los estudios de Fanger (1970), plantea diversas estrategias genéricas de diseño pasivo y activo para conseguir condiciones de confort teniendo en cuenta el clima específico y el porcentaje de personas insatisfechas. Así, es posible considerar en el presente pautas de diseño que sean potenciadas para futuros escenarios y, de esa manera, prever y optimizar las condiciones de confort del usuario. Una vez realizados estos análisis, se establece una serie de consideraciones a modo de conclusión que bien pueden cerrar el propósito de esta investigación y que se añaden al vasto conocimiento sobre habitar el clima cambiante.

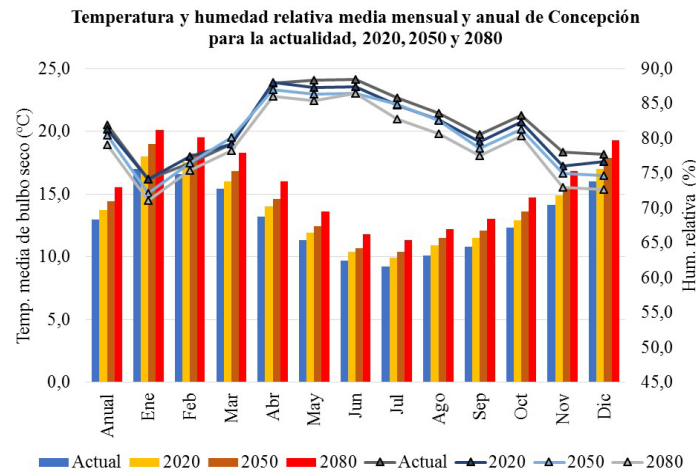


Figura 1. Gráfica de temperatura media de bulbo seco y humedad relativa en Concepción.
 Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Año	Annual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura media de bulbo seco (°C)	Actual	13,0	17,0	16,6	15,4	13,2	11,3	9,7	9,2	10,1	10,8	12,3	14,2	16,0
	2020	13,7	18,0	17,5	16,0	14,0	11,9	10,4	9,9	10,9	11,5	12,9	14,9	17,0
	2050	14,4	19,0	18,2	16,8	14,6	12,4	10,7	10,4	11,5	12,1	13,6	15,6	17,9
	2080	15,6	20,1	19,5	18,3	16,0	13,6	11,8	11,3	12,2	13,0	14,7	16,8	19,3
Humedad relativa (%)	Actual	81,9	74,1	76,5	79,2	87,9	88,3	88,4	85,8	83,6	80,5	83,3	78,0	77,7
	2020	81,3	74,1	77,4	79,2	88,0	87,3	87,4	84,8	82,6	79,5	82,3	76,0	76,7
	2050	80,4	72,1	76,4	80,1	87,0	86,3	86,4	84,9	82,5	78,5	81,3	75,0	74,7
	2080	79,1	71,1	75,4	78,2	86,0	85,3	86,4	82,8	80,6	77,5	80,3	73,0	72,7
Radiación global horizontal (Wh/m2)	Actual	355	537	507	405	307	189	162	182	236	335	414	467	520
	2020	358	540	506	405	306	193	166	184	239	342	420	475	525
	2050	361	539	500	400	310	195	173	188	244	346	423	477	531
	2080	366	537	504	409	314	201	177	193	249	353	437	485	534

Tabla 1. Datos climáticos medios mensuales y anuales de Concepción para la actualidad, para 2020, 2050 y 2080. Fuente: Elaboración propia.

3. GENERACIÓN DE DATOS CLIMÁTICOS.

3.1. CONSIDERACIONES DEL MODELO.

Aunque el modelo HadCM3 A2 es el más extendido para realizar simulaciones para fechas futuras y en opinión de los autores puede considerarse como un camino de desarrollo "probable" sobre las escalas temporales estudiadas, es necesario establecer las siguientes consideraciones que esclarecen algunas limitaciones del modelo:

- Una cierta incertidumbre en los datos subyacentes de resolución del General Coupled Model (GCM) para casos específicos.
- La escasa representatividad del archivo actual EPW para una ubicación específica y su entorno inmediato. Por ejemplo: microclimas, islas de calor, variaciones climáticas localizadas, obstrucciones solares, etc.
- La imposibilidad de contemplar fenómenos naturales puntuales asociados al cambio climático como tormentas, lluvias estacionales, períodos de sequía, etc.

3.2. MODELO DE ESCENARIO DE GEI A2 PARA CONCEPCIÓN Y SANTIAGO.

Los datos que a continuación se exponen derivan de los archivos EPW generados para cada localización y fecha. De todas las variables climáticas, el estudio se centra en la temperatura de bulbo seco, la humedad relativa y la radiación global horizontal de acuerdo con los TDRé. Para cada una de estas variables se cuenta con los 8760 datos horarios del año. En aras de una mayor claridad y teniendo en cuenta que son predicciones, se han agrupado por meses y por año en las siguientes tablas y figuras. Los datos se analizan para la anualidad y se agrupan durante las estaciones de invierno y verano.

Como se puede observar de forma gráfica, en la localización de Concepción (Figura 1) la temperatura media anual se incrementa desde los 13,0°C actuales hasta los 15,6°C en 2080 (Tabla 1), la humedad relativa decae levemente del 81,9% al 79,1%, manteniéndose en niveles propios de este clima y la radiación global horizontal aumenta sutilmente 355 a 366 Wh/m2. Si se analizan los datos mensuales, se advierte que el incremento de temperatura en invierno es de entre 2,1°C y 2,2°C, según mes, sin embargo, durante los meses de

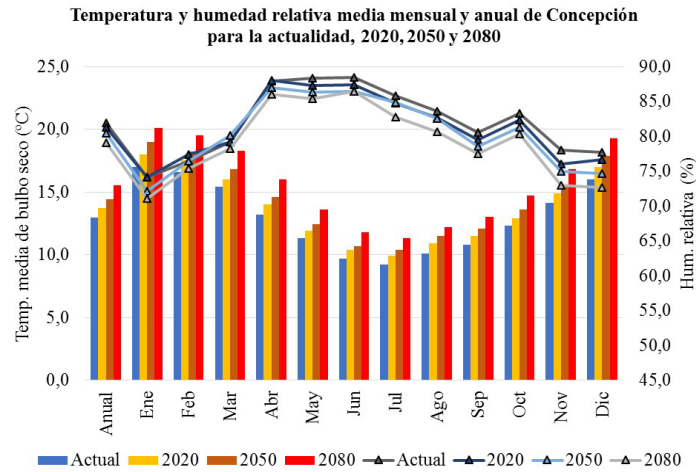


Figura 2: Gráfica de temperatura media de bulbo seco y humedad relativa en Santiago.
 Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Año	Annual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura media de bulbo seco (°C)	Actual	13,0	17,0	16,6	15,4	13,2	11,3	9,7	9,2	10,1	10,8	12,3	14,2	16,0
	2020	13,7	18,0	17,5	16,0	14,0	11,9	10,4	9,9	10,9	11,5	12,9	14,9	17,0
	2050	14,4	19,0	18,2	16,8	14,6	12,4	10,7	10,4	11,5	12,1	13,6	15,6	17,9
	2080	15,6	20,1	19,5	18,3	16,0	13,6	11,8	11,3	12,2	13,0	14,7	16,8	19,3
Humedad relativa (%)	Actual	81,9	74,1	76,5	79,2	87,9	88,3	88,4	85,8	83,6	80,5	83,3	78,0	77,7
	2020	81,3	74,1	77,4	79,2	88,0	87,3	87,4	84,8	82,6	79,5	82,3	76,0	76,7
	2050	80,4	72,1	76,4	80,1	87,0	86,3	86,4	84,9	82,5	78,5	81,3	75,0	74,7
	2080	79,1	71,1	75,4	78,2	86,0	85,3	86,4	82,8	80,6	77,5	80,3	73,0	72,7
Radiación global horizontal (Wh/m2)	Actual	355	537	507	405	307	189	162	182	236	335	414	467	520
	2020	358	540	506	405	306	193	166	184	239	342	420	475	525
	2050	361	539	500	400	310	195	173	188	244	346	423	477	531
	2080	366	537	504	409	314	201	177	193	249	353	437	485	534

Tabla 2: Datos climáticos medios mensuales y anuales de Santiago para la actualidad, y para 2020, 2050 y 2080. Fuente: Elaboración propia.

verano éste se acentúa, oscilando entre los 3,3°C y los 2,9°C. Ello, unido al decremento de la humedad relativa en estos meses de entre 5,0% y 1,1%, denota un cambio climatológico significativo en esta época de año. Durante el invierno, aunque se produce un notable descenso en la humedad relativa, ésta sigue ubicándose en niveles altos propios de este clima. La radiación global horizontal sufre ligeros cambios mensuales, siendo significativo su mayor aumento en meses de invierno y su estabilización o ligero decremento en los meses de verano.

de verano decae entre 8,0% y 5,0%, lo cual denota un cambio climatológico aún más brusco que en Concepción. Durante el invierno, la humedad relativa llega hasta el 70,3%, lo cual constituye un sustancioso descenso que, unido al incremento de temperatura, también modifica de forma notable esta época del año. La radiación global horizontal, al igual que en Concepción, sufre ligeros cambios mensuales, pero en este caso se nota un aumento más constante en la mayoría de los meses del año.

En el caso de Santiago, con la misma escala de gráfico (Figura 2), se observa cómo el cambio climático afecta de forma más abrupta debido a la mayor diferencia de estaciones en este clima. La temperatura media anual se incrementa desde los 14,5°C actuales hasta los 18,1°C en 2080 (Tabla 2), la humedad relativa decae del 71,2% al 65,3%, y la radiación global horizontal aumenta levemente de 390 a 401 Wh/m2. Al analizar los datos mensuales se advierte que el incremento de temperatura en verano es de entre los 4,2°C y los 4,4°C, según mes; no obstante, durante los meses de invierno la oscilación es menor, de entre 3,3°C a 2,7 °C. La humedad relativa en los meses

Año	Anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Actual	10,6	32,3	29,8	20,6	7,5	1,3	0,0	0,0	0,0	1,5	4,4	9,9	21,4
2020	12,0	33,3	31,1	24,1	9,0	1,6	0,1	0,0	0,0	1,5	5,4	11,7	9,9
2050	14,4	37,9	35,9	26,6	10,1	1,7	0,3	0,0	0,0	2,5	6,9	19,3	32,8
2080	18,0	41,7	40,6	32,1	16,9	4,4	1,3	0,0	0,9	3,8	11,3	25,4	39,0

Tabla 3. Confort adaptativo para Concepción en % de horas en la actualidad, en 2020, 2050 y 2080.
 Fuente: Elaboración propia.

Año	Anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Actual	16,2	29,7	27,5	25,7	15,0	9,5	0,0	0,0	0,7	8,5	18,8	27,2	32,7
2020	16,9	26,1	26,0	25,7	17,6	11,2	2,4	0,0	4,7	10,3	19,8	27,5	32,4
2050	18,7	26,9	28,6	26,7	21,0	13,0	6,3	0,4	8,1	12,5	21,2	27,6	32,4
2080	20,3	24,9	28,4	28,8	23,8	17,3	10,1	6,3	10,1	16,3	21,6	26,7	30,5

Tabla 4. Confort adaptativo para Santiago en % de horas en la actualidad, en 2020, 2050 y 2080.
 Fuente: Elaboración propia.

4. APLICACIÓN DE LOS MODELOS DE CONFORT.

4.1. CONSIDERACIONES DE LOS MODELOS.

Los modelos de confort que se desarrollan a continuación se basan en los datos de los archivos EPW, por lo que se tienen en cuenta las limitaciones antes mencionadas. Además, estos estudios psicométricos no consideran elementos de la envolvente, orientación o factor de forma de la edificación. Así, en el modelo de confort que considera las estrategias de diseño, podemos denominar éstas como "genéricas", ya que son los límites establecidos en un diagrama. Dichos límites han sido contrastados con diversos experimentos de campo a lo largo del mundo y su fortaleza radica en permiten la comparación entre los datos actuales y los futuros en los casos de estudio.

4.2. CONFORT ADAPTATIVO.

El modelo de confort adaptativo definido en ASHRAE Standard 55-2013 asume que las condiciones interiores son aceptables dentro de unos límites marcados por la temperatura del aire exterior, siendo el rango máximo de estudio entre los 10°C y los 33,5°C. En ambos casos de estudio, las temperaturas medias de invierno son inferiores al mínimo, por lo que durante estos meses se prevé que el confort no se puede conseguir sin sistemas de aporte de calor. No obstante y debido a la costumbre de utilizar ropa de abrigo en invierno y a la tolerancia que suelen demostrar los usuarios que habitan los edificios ventilados de forma natural (Bouden y Ghrab, 2005; Feriadi y Wong, 2004), los

límites son ampliados en el rango del 80%. Tal ampliación se fundamenta en el hecho de que el usuario adaptará su forma de vestir al clima en un rango de 1,0 a 0,5 Clo y que realizará actividades sedentarias propias de habitar un hogar de entre 1.0 a 1.1 Met. Este método no evalúa cómo el confort es afectado por las diversas estrategias de diseño pasivas, sino que lo determina sólo en términos de confort adaptativo, que contempla que ventilación natural.

Desde ese enfoque, el confort se consigue actualmente (usando ventilación natural) el 10,6% de las horas del año en Concepción (Tabla 3) y el 16,2%, en Santiago (Tabla 4). Debido al calentamiento global y considerando estos climas como relativamente fríos, el porcentaje de horas de confort sube hasta el 18,0% en Concepción y hasta el 20,3% en Santiago para las predicciones de 2080.

Si analizamos este incremento mes a mes, en el caso de Concepción (Tabla 3) se puede señalar que la mayor diferencia se da en los meses más cálidos y que durante invierno esta no es significativa, manteniéndose en unos niveles por debajo del confort. Por lo que una mayor interacción con el entorno, cuando las condiciones exteriores son más cercanas a los límites de confort, no debe descuidar en invierno el obtenerla obtención de ganancias en invierno y disminuir lasla disminución de pérdidas.

En el análisis mensual de Santiago (Tabla 4), se observa una ligera pérdida en las condiciones de confort de noviembre a febrero, ya que las temperaturas exteriores exceden los límites. Por ello, habrá que mejorar las estrategias de refrigeración en la edificación. En condiciones invernales, sólo en la predicción de 2080, parece ser probable que en un porcentaje representativo de horas, en torno al 10% máximo, se puedan obtener niveles de confort con ventilación natural.

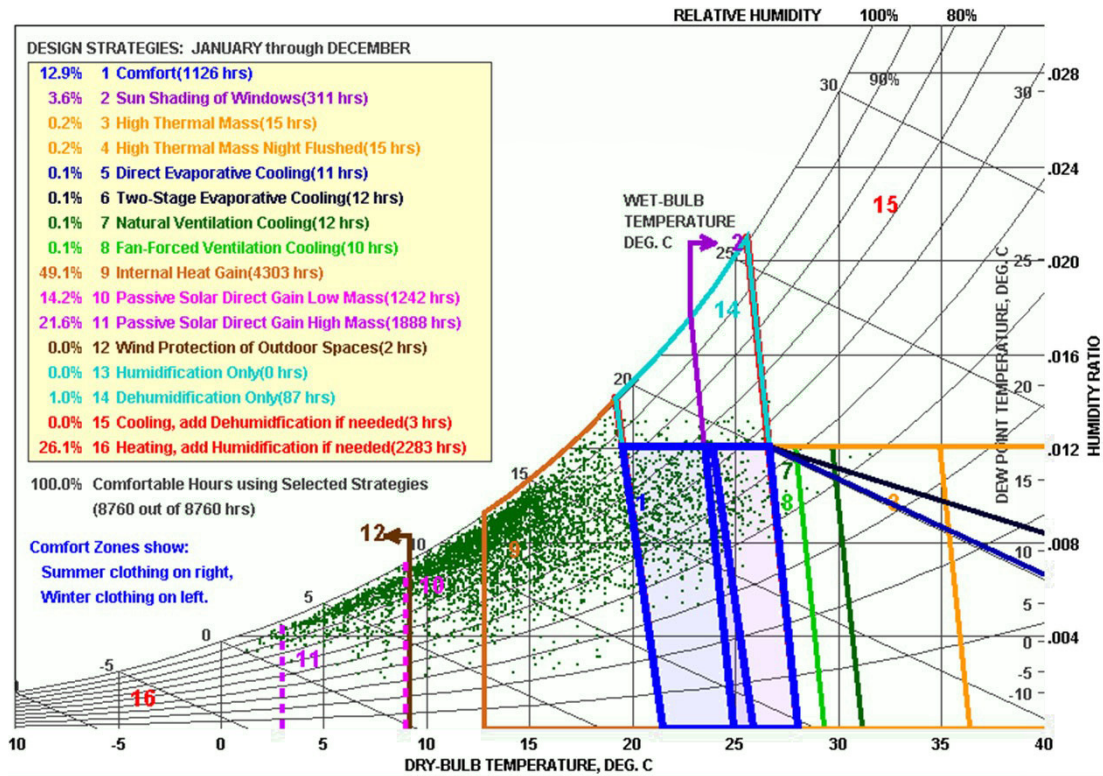


Figura 3. Ejemplo de estrategias genéricas de diseño para 2050 en Concepción.
 Fuente: Climate Consultant 6.0.

4.3. CONFORT SEGÚN ASHRAE HANDBOOK OF FUNDAMENTALS: ESTRATEGIAS GENÉRICAS DE DISEÑO PASIVO.

El modelo de confort ASHRAE Handbook of Fundamentals proviene de un estudio experimental que considera la temperatura de bulbo seco, la humedad relativa, la velocidad del aire y la actividad metabólica. Además, determina el PMV estimando el vestuario empleado en invierno y verano, y el hecho de que el usuario se encuentra más confortable con el aire más seco cuando las temperaturas son ligeramente más altas. Este modelo (Figura 3) es idóneo para nuestros particulares casos de estudio, ya que actualmente ambos climas poseen un elevado porcentaje de humedad relativa.

Al aplicar este modelo de confort para el caso de Concepción (Tabla 5 y Figura 4) y Santiago (Tabla 5 y Figura 5) es posible denotar que el confort se consigue en la actualidad el 8,1% y el 15,4% del año, respectivamente, es decir, las condiciones climáticas exteriores se establecen dentro de la zona 1 durante esta serie de horas anuales. Este parámetro se ve incrementado paulatinamente hasta la predicción de 2080 en 15,2%, en Concepción, y en 19,7%, en Santiago, como ya ocurría con el modelo de confort adaptativo, por lo que el diseño arquitectónico debería tender a interactuar de forma más activa con el exterior. Es relevante recordar

las consideraciones establecidas tanto en las predicciones como en la aplicación de estos modelos, ya que el cambio climático puede llevar a situaciones devastadoras asociadas a múltiples factores. De esa forma, este análisis se realiza en el contexto de lo que, en términos físicos, se denomina "equilibrio inestable".

Al examinar cada una de las 16 estrategias que establece el modelo para el año, en la localización de Concepción, es posible distinguir (Figura 4) las más influyentes en la actualidad y en escenarios futuros. El uso de protecciones solares aumenta considerablemente del 0,7 al 6,7%. Este parámetro está relacionado con el decremento de ganancias solares en elementos ligeros, como ventanas y atrios, por lo que implementar el diseño de los mismos, sobre todo los orientados al norte, supondrá conseguir mayores niveles de confort en los meses más cálidos y tener menos pérdidas en los más fríos. Como se ha advertido a partir de los datos climáticos, aunque exista un calentamiento paulatino las estrategias de refrigeración 4, 5, 6, 7, 8, 13 y 15 tienen apenas influencia en Concepción, pues las temperaturas exteriores se mantienen por debajo de los límites de confort. Sin embargo, aquellas estrategias de incremento de calor sensible y latente sí que son determinantes. Es común que en este tipo de clima las ganancias internas sean decisivas para conseguir sensaciones de confort. En la actualidad, con un 42,1% de las horas se puede llegar a niveles aceptables. Nótese que esto se consigue con mayor facilidad en edificios terciarios con gran afluencia de público y equipamiento, no obstante, es mucho más

Modelo ASHRAE Handbook of Fundamentals Estrategias genéricas de diseño pasivo en % de horas	Concepción				Santiago			
	Actual	2020	2050	2080	Actual	2020	2050	2080
1. Confort	8,1	10,2	12,9	15,2	15,4	17,2	17,9	19,7
2. Protecciones solares	0,7	1,7	3,6	6,7	10,8	12,1	14,2	16,6
3. Alta masa térmica	0,0	0,1	0,2	0,7	6,1	8,0	10,6	13,2
4. A. M. T. con disipación nocturna	0,0	0,1	0,2	0,7	6,1	8,0	10,8	14,2
5. Enfriamiento evaporativo directo	0,0	0,0	0,1	0,7	6,0	7,3	9,5	11,1
6. Enfriamiento evaporativo incrementado	0,0	0,0	0,1	0,7	6,1	7,5	10,1	12,5
7. Ventilación natural	0,0	0,1	0,1	0,7	4,8	5,3	5,2	5,2
8. Ventilación forzada	0,0	0,0	0,1	0,6	2,9	2,8	2,7	2,7
9. Ganancias internas	42,1	45,5	49,1	53,1	33,7	36,1	36,8	37,4
10. Ganancias solares en elem. ligeros	17,4	15,6	14,2	12,9	9,6	7,8	6,5	4,9
11. Ganancias solares en elem. de alta masa	20,4	20,9	21,6	22,4	21,9	21,7	21,0	19,5
12. Protección al viento	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13. Humidificación	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14. Deshumidificación	0,2	0,7	1,0	3,1	0,1	0,3	0,4	1,4
15. Refrigeración	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,2	0,7	1,3
16. Calefacción	35,1	31,0	26,1	19,2	33,6	29,5	25,8	20,4

Tabla 5. Confort adaptativo para Santiago en % de horas en la actualidad, en 2020, 2050 y 2080.
Fuente: Elaboración propia.

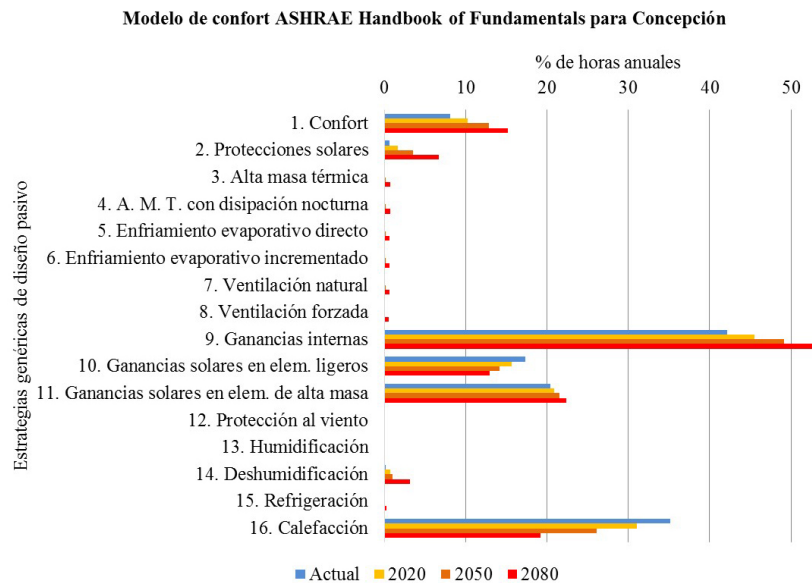


Figura 4. Estrategias genéricas de diseño para Concepción en la actualidad, en 2020, 2050 y 2080.
Fuente: Elaboración propia.

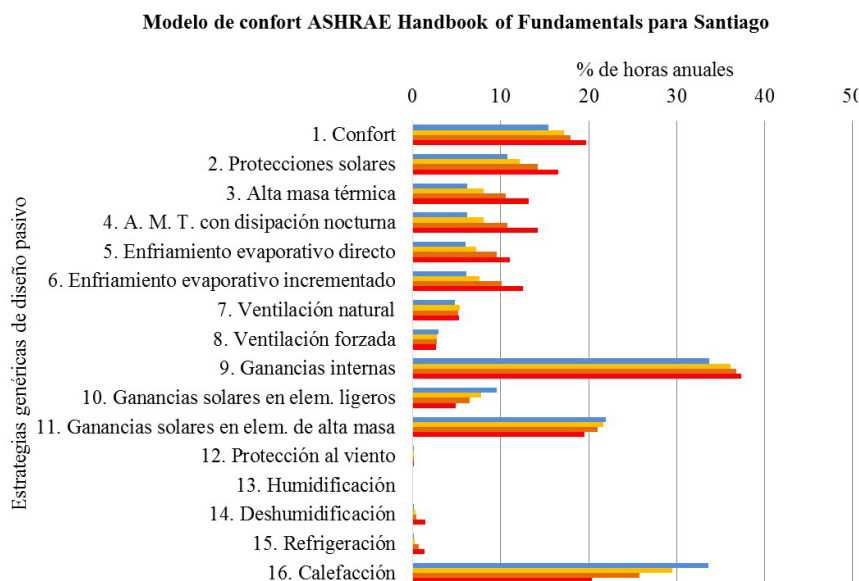


Figura 5. Estrategias genéricas de diseño para Santiago en la actualidad, en 2020, 2050 y 2080.
Fuente: Elaboración propia.

difícil adquirir este elevado porcentaje en viviendas. Este valor está estrechamente ligado a la calefacción, que bien puede generarse mediante sistemas activos, pero que también se puede conseguir mediante elementos pasivos. En la actualidad, la estrategia de calefacción supone el 35,1% del año ya que, aunque se consigan altas ganancias internas, no se alcanzan los límites de confort. A medida que se produce un incremento en la temperatura exterior se reduce el porcentaje de calefacción, al 19,2% en 2080, adquiriendo mayor importancia las ganancias internas: 53,1% en igual fecha. Asimismo, el porcentaje de horas en los que se obtiene ganancias solares en los elementos de gran masa, se incrementa sensiblemente, con lo que una mejora en el diseño de la envolvente con sistemas pasivos de acumulación de calor, puede mejorar la eficiencia energética y el confort térmico si existe un rango mayor de temperaturas. Al reducir el uso de elementos activos y conseguir una mayor interacción con el ambiente exterior, hay que considerar sistemas de deshumidificación, pues los niveles de humedad relativa se mantienen altos pese a su decremento.

En el caso de Santiago, las estrategias de confort son bien diferentes, tanto en la actualidad como en futuros escenarios, puesto que hoy son influyentes las estrategias pasivas de enfriamiento y éstas se ven incrementadas después de forma paulatina, siendo determinantes para conseguir confort. Así, la tendencia supone un diseño que tenga en consideración que la envolvente debe disipar el calentamiento que se verá incrementado mediante el cambio climático en un 14,2% en 2080, potenciar estrategias de enfriamiento evaporativo en un 11,1 y 12,15%, e incrementar las protecciones solares según orientación, en un 16,6%. Las estrategias de calefacción se reducen del 33,6 al 20,4% y aunque las estrategias de refrigeración aumenten levemente, son menos influyentes que la deshumidificación en determinados momentos del año, pese a la reducción de la humedad relativa. Nuevamente, las ganancias internas constituyen el parámetro más destacado, pues permiten prever meses menos fríos, en la medida en que éstas ellas varían de un 33,7% en la actualidad a un 37,4% en 2080 (aunque sufre un incremento bastante menor que en el caso de Concepción). Las ganancias solares también se reducen, por lo que un diseño en el que se perfeccione el factor de forma, se considere estrategias de enfriamiento pasivo y se optimice el porcentaje de huecos según orientación, mejorará la eficiencia energética y el confort en las edificaciones.

5. Conclusiones.

En esta investigación se ha tratado el caso de estudio que constituyen las ciudades de Concepción y Santiago en Chile. Las conclusiones deben entenderse, por tanto, como particulares para dicho caso. El método de análisis puede extrapolarse a otros lugares, teniendo en cuenta la especificidad de cada localización, así como otros factores, tales como los legales o socioculturales. Dicho esto, se pueden extraer las siguientes conclusiones del presente estudio:

- La comparación entre los escenarios climáticos presentes y futuros permite llegar a ciertas conclusiones acerca de la conveniencia de adaptar el diseño de los edificios a un fenómeno cambiante, como lo es el clima. Los escenarios calculados (2020, 2050 y 2080) suponen un período que bien puede coincidir con la vida útil de un edificio construido hoy (5, 25 y 65 años, respectivamente), por lo que no se han tratado fenómenos lejanos en el tiempo o improbables. En este sentido, sería conveniente plantear un diseño "dinámico" para el edificio, dicho de otro modo, un diseño preparado para los futuros escenarios climatológicos posibles.

- Aunque la variación en el clima es un fenómeno que, globalmente, es considerado como perjudicial, en algunos estudios particulares, como el que nos ocupa, puede resultar, paradójicamente, beneficioso. Un aumento de las temperaturas medias tiene como efectos principales, en este caso, un aumento de las horas de confort durante el año y una disminución del uso de sistemas artificiales de calefacción. No obstante, sería erróneo estimar que el cambio del clima es beneficioso para las ciudades de Santiago y Concepción, o para Chile en su conjunto, ya que hay que considerar los efectos perjudiciales de este cambio en otros ámbitos, como por ejemplo, el desequilibrio de los ecosistemas, la disminución de las precipitaciones o la recurrencia de fenómenos catastróficos (tifones, lluvias torrenciales, sequías, etc.).

- Puesto que se han analizado las variaciones climáticas en dos ciudades de tamaño considerable, sería conveniente, tomando como punto de partida este caso de estudio, combinar los modelos experimentales GEI A2 con el efecto que los tejidos urbanos densos ejercen sobre el microclima de las ciudades. De hecho, algunos de los principales efectos de un denso tejido urbano, en este sentido, suelen ser un aumento de las temperaturas medias y una disminución de la humedad relativa. Tal consecuencia, en asociación con los escenarios propuestos, podría arrojar conclusiones interesantes acerca del agravamiento del cambio del clima en extensos conglomerados urbanos.

Con todo, los modelos de confort y las estrategias genéricas de diseño pasivo han determinado ciertas pautas a seguir desde el punto de vista del proyecto constructivo que se prevén como bases para una arquitectura más sustentable y consciente con el hábitat. Profundizando en los casos de estudio, tanto Concepción como Santiago se ven

influenciados de forma notable en este proceso de cambio. En Concepción, aunque siguen primando las estrategias de calentamiento, hay que considerar las ganancias solares y avanzar hacia sistemas pasivos de calefacción. En el caso de Santiago, la tendencia denota que la adaptación se debe centrar en el enfriamiento mediante sistemas pasivos, teniendo en cuenta que en los meses más fríos aún se necesitarán ganancias para conseguir confort.

Numerosas son las incertidumbres que estos modelos plantean y esta investigación pretende arrojar luz sobre los posibles fenómenos que ocurrirán en el futuro, así como nuestro modo de adaptarnos a ellos. En definitiva, las simulaciones o predicciones nos permiten observar con cierta cautela hechos que aún no han ocurrido, de modo que habrá que concebirlas como tales, dentro del marco científico en el cual se inscribe esta investigación. Comprender estos cambios y reflexionar sobre cómo los edificios pueden ser más resilientes respecto de ellos, es un primer paso para una adaptación sensible y consciente al cambio del clima.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Departamento de Arquitectura y Diseño Urbano de la Universidad de California por la herramienta Climate Consultant y al grupo de investigación de Energía Sustentable de la Universidad de Southampton por la herramienta CCWorldWeatherGen, ambas de acceso abierto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

AHSRAE STANDARDS COMMITTEE. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. 2013. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning, 2013.

AHSRAE TECHNICAL COMMITTEE. *ASHRAE Handbook of Fundamentals: 2005*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning, 2005.

BELCHER, Stephen, HACKER, Jacob y POWELL, Diana. Constructing design weather data for futureclimates. *Building Services Engineering Research and Technology* [en línea]. 2005, n°26, pp. 49-61. [Consultado 25 agosto 2015]. DOI:10.1191/0143624405bt112oa

BOUDEN, Chiheb y GHRAB, Nadia. An adaptive thermal comfort model for the Tunisian context: A field study results. *Energy and Buildings* [en línea]. 2005, n°37, pp. 952-963. [Consultado 25 agosto 2015]. DOI: 10.1016/j.enbuild.2004.12.003

ENERGY DESIGN TOOL UCLA [en línea]. [Consultado 28 agosto 2015]. Disponible en: <http://www.energydesign-tools.aud.ucla.edu/>

ERIKSEN, Siri, ALDUNCE Paulina, SEKHAR, Chandra, D'ALMEIDA, Rafael, MOLEFE, John Isaac, NHEMACHEN, Charles, O'BRIEN, Karen, OLORUNFEMI, Felix, PARK, Jacob, SYGNA, Linda y

ULSRUD, Kirsten. When not every response to climate change is a good one: Identifying principles for sustainable adaptation. *Climate and Development* [en línea]. 2011, n°3, pp. 7-20. [Consultado 25 agosto 2015]. DOI:10.3763/cdev.2010.0060

FANGER, Poul Ole. *Thermal Comfort*. 1ª ed. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

FERIADI, Henry y WONG, Nyuk Hien. Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia. *Energy and Buildings* [en línea]. 2004, vol. 36, n°7, pp. 614-626. [Consultado 25 agosto 2015]. DOI: 10.1016/j.enbuild.2004.01.011

GUAN, Lisa. Preparation of future weather data to study the impact of climate change on buildings. *Building and Environment* [en línea]. 2009, n°44, pp. 793-800. [Consultado 25 agosto 2015]. DOI:10.1016/j.buildenv.2008.05.021

GIVONI, Baruch. *Man, Climate and Architecture*. 1ª ed. Amsterdam/London/New York: Elsevier Publishing Company Limited, 1969.

HUMPHREYS, Michael y NICOL, Fergus. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings* [en línea]. 2002, vol. 34 n°6, pp. 563-572. [Consultado 25 agosto 2015]. DOI: 10.1016/S0378-7788(02)00006-3

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: 2014*. Ginebra: IPCC, 2014.

JENTSCH, Mark F., BAHAJ, AbuBakr S. y JAMES, Patrick A. B. Climate change future proofing of buildings - Generation and assessment of building simulation weather file. *Energy and Buildings* [en línea]. 2008, n°40, pp. 2148-2168. [Consultado 25 agosto 2015]. DOI: 10.1016/j.enbuild.2008.06.005

MET OFFICE. Met office Hadley centre [en línea]. [Consultado 28 agosto 2015]. Disponible en: <http://www.metoffice.gov.uk/climate-change/resources/hadley>

MYLONA, Anastasia. The use of UKCP09 to produce weather files for building simulation. *Building Services Engineering Research and Technology* [en línea], 2010, vol. 33, n°1, pp. 51-62. [Consultado 25 agosto 2015]. DOI: 10.1177/0143624411428951

OFICINA DE CAMBIO CLIMÁTICO. *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático: 2014*. Santiago: Ministerio del Medio Ambiente, 2014.

ROBERT, Amélie, KUMMERT, Michaël. Designing net-zero energy buildings for the future climate, not for the past. *Building and Environment* [en línea]. 2012, n°55, pp. 150-158. [Consultado 25 agosto 2015]. DOI:10.1016/j.buildenv.2011.12.014

SCHIERMEIER, Quirin. The real holes in climate science. *Nature* [en línea]. 2010, vol. 463, n°7279, pp. 284-287. [Consultado 25 agosto 2015] DOI: 10.1038/463284a

UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON. Sustainable Energy Research Group [en línea]. [Consultado 28 agosto 2015]. Disponible en: <http://www.energy.soton.ac.uk/ccworldweathergen/>

U.S. Department of Energy [en línea]. [Consultado 28 agosto 2015]. Disponible en: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm

ESTUDIO DEL EFECTO TÉRMICO DE ESPACIOS VERDES URBANOS DEL ÁRIDO CON SENSORES REMOTOS ¹

Artículo
Recibido 22-05-2015
Aceptado 01-11-2015

Study on the thermal effect of urban green space in arid zones using remote sensing

ALEJANDRA KURBÁN, Instituto de Estudios en Arquitectura Ambiental (INEAA) - Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño - Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina, akurban@unsj.edu.ar

MARIO CÚNSULO, Instituto de Estudios en Arquitectura Ambiental (INEAA) - Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño - Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina, mcunsulo@unsj.edu.ar

RESUMEN

Se estudia el efecto térmico estacional de los espacios verdes urbanos en una ciudad de zona árida (San Juan, Argentina), a través del procesamiento de imágenes satelitales multiespectrales tipo LANDSAT 5 TM+ correspondientes al año 2011. La temperatura del aire se obtiene con el método TvX a partir de un muestreo amplio de relaciones entre el índice normalizado de vegetación NDVI y la temperatura de superficie. Los datos térmicos se combinan con registros de una estación meteorológica ubicada en el centro de la ciudad. Se cuantifican dichos datos y se relacionan con las bandas urbanas características de la ciudad y la isla de calor estacional, esta última obtenida del procesamiento de las mismas imágenes satelitales de 2011. Los resultados convalidan y amplían los conseguidos a partir de un previo trabajo de campo in situ, respecto al efecto bioclimático de los espacios verdes en sus ambientes urbanos áridos. Se verifica, finalmente, la eficiencia del uso de la teledetección para estudios urbanos, cuyos alcances puedan aplicarse al diseño urbano bioclimático.

Palabras clave

diseño urbano bioclimático, imágenes satelitales, zonas áridas.

ABSTRACT

The seasonal thermal effect of urban green space in an arid city (San Juan, Argentina) was studied by processing LANDSAT 5 TM+ multispectral satellite images for the year 2011. Air temperature was obtained using the TvX method on a broad sampling of relationships between the normalized vegetation index NDVI and surface temperature. Thermal data was combined with meteorological records from a weather station located in the city center. This information was quantified and related to the city's urban characteristic bands and the seasonal heat island, the latter of which was obtained by processing the same 2011 satellite images. The results validate and expand those obtained from previous in situ fieldwork regarding the bioclimatic effect of green space in arid urban environments. Lastly, the efficiency of the use of remote sensing for urban studies whose results can be applied to bioclimatic urban design is verified.

Keywords

bioclimatic urban design, satellite images, arid zones

[1] Artículo de investigación científica y tecnológica elaborado a partir del proyecto de investigación "Estudio Bioclimático de la Forestación con Procesamiento de Imágenes Satelitales", de A. Kurbán, A. Papparelli, M. Cúnsulo, E. Montilla, A. Ortega, G. Roca y A. Álvarez. Proyecto de Investigación bianual subsidiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNSJ. Código 21 A-848. Res. N°131/11-CS. Este estudio contó con la colaboración de la CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales), entidad que proveyó las imágenes satelitales utilizadas y facilitó la inestimable participación de la Dra. Graciela Salinas en el dictado del curso "Teleobservación y procesamiento digital de imágenes satelitales", para la formación de los integrantes de la Unidad Ejecutora. Agradecemos también especialmente al Arq. Carlos Cotlier, al Sr. Diego López y a la Ing. Cecilia Cornero, del Centro de Sensores Remotos, de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario, por su completo y generoso asesoramiento.

1. INTRODUCCIÓN.

La ciudad de San Juan está ubicada en el centro-oeste de la República Argentina (Lat. Sur: 31° 32' 24" y Long. 69° 31'48"), en la denominada "Diagonal Árida de América del Sur", que se extiende desde el norte del Perú hasta el sur de Argentina. El Área Metropolitana de San Juan tiene una superficie de 127Km² (Papparelli et al., 2015), lo que representa el 0,14% del territorio provincial, una población de 458.230 habitantes (el 67% del total provincial) y una densidad poblacional de 36hab/km².

El clima urbano San Juan es Árido Continental Mesotermal. Posee elevadas amplitudes térmicas tanto diarias como estacionales y anuales; bajos tenores de humedad; régimen estival de escasas precipitaciones; y elevada radiación solar en todo el año (Kurbán et al., 2015).

Enmarcado en la línea de investigación de Clima Urbano, desde el año 1996 los autores de este artículo desarrollan proyectos relacionados con el rol de la forestación en la disminución de la carga climática urbana en ciudades localizadas en zonas áridas, tomando como caso de estudio el Área Metropolitana de San Juan - Argentina.

A través de dichos trabajos se estudió i) permeabilidad a la radiación solar global de ejemplares aislados representativos de las especies arbóreas caducifolias y perennifolias implantadas en la ciudad (Kurbán, Papparelli, Cúnsulo, 2004); ii) efecto bioclimático de espacios verdes en sus entornos urbanos (Kurbán et al., 2007a y 2007b.); iii) cuantificación de la cobertura bioclimática del ejido urbano (Kurbán et al., 2009); iv) análisis de la relación entre una normativa internacional de área/habitante aplicada en San Juan y el déficit bioclimático existente en la ciudad (Kurbán et al., 2010).

En todos los casos, los datos de temperatura urbana fueron obtenidos por medio de registros realizados in situ. Si bien estos valores conformaron una base de datos muy precisos y puntuales, al analizar espacios verdes distanciados entre sí, fue necesario contar con información sincrónica de varios puntos de la ciudad, lo cual requirió cálculos de corrección horaria para asimilar la toma correspondiente al mismo instante. Debido a ello y a la necesidad de realizar estudios históricos o temporales del clima de la ciudad influenciados por los espacios verdes, los autores incorporaron una nueva fuente de datos, a partir de imágenes satelitales multiespectrales. Dicho sistema de adquisición de datos, permitía su estudio en simultáneo, presentando además la posibilidad de contrastar estudios previos, y así verificar la fiabilidad de diferentes fuentes de datos.

Son escasas las investigaciones que usan imágenes satelitales para analizar la influencia térmica de los espacios verdes forestados. En general, los sensores remotos de teledetección se han utilizado en los últimos años para estudiar el clima urbano de varias ciudades españolas, tales como Madrid, Segovia, Ávila, Guadalajara y Toledo (Pérez González y García Rodríguez, 2001 y 2002) y Valencia (Valor et al., 2000).

En Santiago de Chile, Sarricolea et al. (2005) analizaron la isla de calor urbana, en virtud de los cambios históricos entre 1998 y 2004. Para la ciudad de Atenas (Stathopoulou et al., 2009), se usaron imágenes satelitales en el estudio de la isla de calor urbana, midiendo las propiedades ópticas y térmicas de materiales usados en edificios y pavimentos.

El propósito del estudio que aquí se expone es verificar si las imágenes satelitales constituyen herramientas idóneas para estudios de planificación y diseño urbano-arquitectónico bioclimático. Para ello, se contrasta los resultados obtenidos con estudios previos realizados por los autores (con mediciones in situ), que consideran los espacios verdes de la ciudad como moderadores del clima.

Se propone, además, estudiar la relación entre el efecto térmico de los espacios verdes urbanos (EVU) y las características de la distribución espacial del área Metropolitana de San Juan, generadoras de condiciones microclimáticas particulares: el clima urbano. Asimismo, se plantea conocer la relación existente entre la isla de calor urbana (principal aspecto del clima urbano) y los efectos térmicos de los EVU.

Dada la manifiesta utilidad del uso combinado de imágenes satelitales con estaciones meteorológicas instaladas en los lugares de análisis (Pérez González; García Rodríguez y Guerra Zaballos, 2003), el trabajo combina los datos obtenidos por sensores remotos, con los registros de una estación meteorológica ubicada en el centro de la ciudad.

El estudio analiza el efecto térmico estacional (verano e invierno) de 19 EVU del Área Metropolitana de San Juan -previamente identificados como bioclimáticamente eficientes (Kurbán et al, 2007a y 2007b)- a través del procesamiento de imágenes satelitales multiespectrales tipo LANDSAT 5 TM+ correspondientes al año 2011.

Las imágenes satelitales, procesadas con el software ENVI 4.7, permiten obtener el Índice Diferencial de Vegetación Normalizado-NDVI y la temperatura del aire, la cual se termo-referencia con una estación meteorológica y se corrige en función de la estadística histórica.

El examen de la influencia térmica de los EVU se lleva a cabo en dos escalas de análisis espacial: de la ciudad y del EVU. Se obtiene, de este modo, isotermas de cada uno de esos espacios y de su entorno, cuya distribución permite observar determinado efecto térmico, el cual se estudia en relación con la isla de calor de la ciudad.

2. ELECCIÓN DE IMÁGENES SATELITALES.

Las imágenes satelitales estacionales utilizadas fueron las LANDSAT 5TM Thematic Mapper, pues se trató de las únicas (disponibles) que cumplían con las condiciones requeridas: no poseían deficiencias de adquisición en sus bandas, cubrían el área de la ciudad de San Juan y proveían la Banda del Infrarrojo Cercano o NIR (B3) y la Banda Térmica (B6), con una resolución espacial conveniente a la escala de los espacios verdes a estudiar. Se trabajó con las últimas imágenes disponibles que cubrían el Área Metropolitana de San Juan, en los siguientes días de verano e invierno de 2011: 09/12/2010 y 22/08/2011, respectivamente. La hora de paso del satélite fue las 14:30, hora solar verdadera (16:00 hora oficial argentina).

3. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES.

A fin de obtener el Índice Diferencial de Vegetación Normalizado - NDVI y la temperatura del aire, las imágenes satelitales se procesaron utilizando el software ENVI 4,7, de acuerdo con las siguientes etapas:

- Calibración radiométrica
- Cálculo del índice diferencial de vegetación normalizado
- Cálculo de temperatura superficial
- Cálculo de temperatura del aire
- Cálculo de temperatura del aire termo-referenciada
- Corrección histórica

Para el desarrollo de los ítems a., b., y c. se siguió el procedimiento desarrollado por Cotlier, López y Cornero (2010). Mientras que el ítem d. se ejecutó con el método Thermal Vegetation Index (Goetz, S. J., Prince, S. D. y Small, J., 2000). La descripción de los 4 primeros ítems consta en Cúnsulo, M., Papparelli, A. y Kurbán, A. (2012). La termo-referenciación se realizó con datos obtenidos en la llamada Banda Eminentemente Urbana de la ciudad² (Papparelli Cúnsulo, Kurbán, 2009), con registros de la Estación Meteorológica propiedad del Instituto de Estudios en Arquitectura Ambiental, unidad ejecutora de pertenencia de los autores.



Figura 1: Espacios verdes urbanos del Área Metropolitana de San Juan, bioclimáticamente eficientes.
Fuente: Elaboración propia sobre la base catastral del Área Metropolitana de San Juan.

4. ESPACIOS VERDES URBANOS DE ESTUDIO.

Las dimensiones mínimas que requiere un espacio verde urbano para que contribuya a modificar las condiciones higrotérmicas de su entorno, disminuyendo la rigurosidad del clima urbano (dimensiones menores limitan su influencia bioclimática a su propia superficie), son: Superficie mínima: 0,80ha; Lado mínimo: 50m (Kurbán et al, 2007a y 2007b).

En el Área metropolitana de San Juan existen 508 espacios verdes de los cuales sólo 19 presentan condiciones dimensionales y urbanísticas que les permiten ejercer su influencia bioclimática en su entorno urbano (Kurbán et al., 2009) (Figura 1). Por las características históricas fundacionales de las ciudades de nuestro país, la ciudad de San Juan se caracteriza por su trazado en damero de aproximadamente 120m de lado, razón por la que 17 de los 19 EVU poseen una superficie de 13.800m². Los dos restantes, son considerados parques, con superficies de 12ha y 6ha, respectivamente.

Cada EVU fue relevado *in situ* y cartográficamente, calculándose para cada uno de ellos, los siguientes índices:

- Superficie catastral del EVU (m²)

[2] El concepto de Banda Eminentemente Urbana, se explicita en páginas 16 y 17.

Nº EVU	DENOMINACIÓN EVU	SUPERFICIE (m ²)	SECTOR CARDINAL
1	Plaza 25 de Mayo	11755,12	CENTRO DE EJES
2	Plaza Gertrudis Funes	13202,02	NORESTE
3	Plaza Antonino Aberastain	11852,99	ESTE
4	Plaza Gral. San Martín	10265,88	
5	Plaza Acceso Sur	11468,77	SURESTE
6	Plaza Hipólito Irigoyen	14938,53	SUR
7	Plaza Almirante Brown	15500,33	
8	Plaza Villa Krause	13035,25	SUROESTE
9	Plaza Bº San Damián	9328,84	
10	Parque Rawson	63373,03	OESTE
11	Plaza Narciso Laprida	10265,88	
12	Plaza España	12870,04	OESTE
13	Parque de Mayo	125.303,50	
14	Plaza Salvador Mº del Carril	11863,33	OESTE
15	Plaza Manuel Belgrano	11587,69	
16	Plaza San Roque	7806,15	NOROESTE
17	Plaza Bº Camus	13838,67	
18	Plaza Huaziul	7305,62	NOROESTE
19	Plaza Bº Villa Obrera	9981,58	

Tabla 1: Denominación de los EVU estudiados, superficie y sector cardinal en que se encuentra, en relación con el centro de la ciudad.
 Fuente: Elaboración propia.

- Superficie real del EVU (m²)
- Superficie de proyección arbórea (m²)
- Altura promedio arbórea por especie (m)
- Altura promedio del EVU (m)
- Impronta arbórea (%)
- Volumetría arbórea (por especie y total) (m³)
- Densidad volumétrica arbórea (m³/ha)

En la Tabla 1 se presenta la información con la denominación del EVU, su superficie y el sector cardinal en el que se encuentra en relación con el centro espacial de la ciudad: Plaza 25 de Mayo.

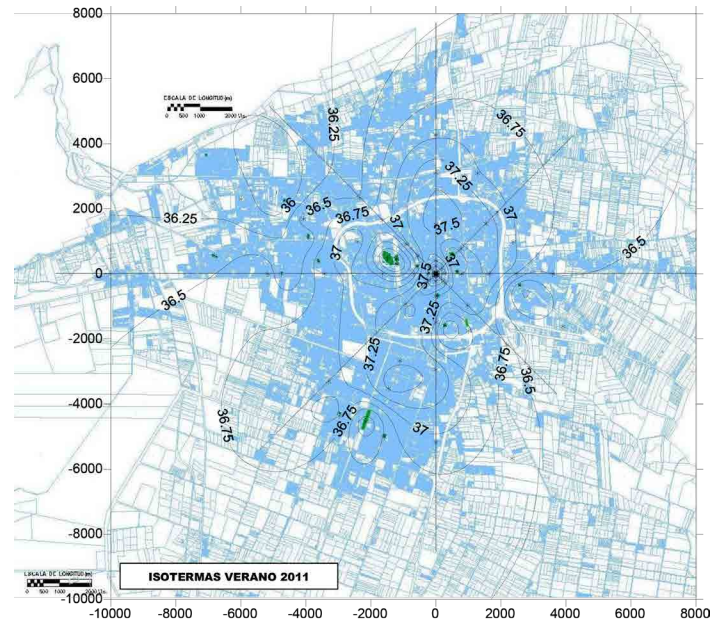


Figura 2: Isotermas de verano del Área Metropolitana de San Juan – Año 2011.
 Fuente: Elaboración propia sobre la base catastral del Área Metropolitana de San Juan.

5. MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE DATOS TÉRMICOS DE LOS EVU.

5.1 PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DEL NDVI Y TEMPERATURA DEL AIRE DE LOS EVU DE ESTUDIO.

En cada EVU se generó una “región de interés” del menú del citado software ENVI 4.7, para promediar los valores de los píxeles que comprende la sección de la forma geométrica que se adopte. Geométricamente, el 90% de los EVU puede asimilarse a un círculo de 66m de radio. Por ello, se adoptó la región circular conformada por 12 píxeles, los cuales integran la información correspondiente a un círculo de 60m de radio. Ésta se hizo coincidir con el centro de cada EVU y con la opción Stats se calcularon los valores promedio en dicha superficie correspondientes al Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI) y a la temperatura del aire.

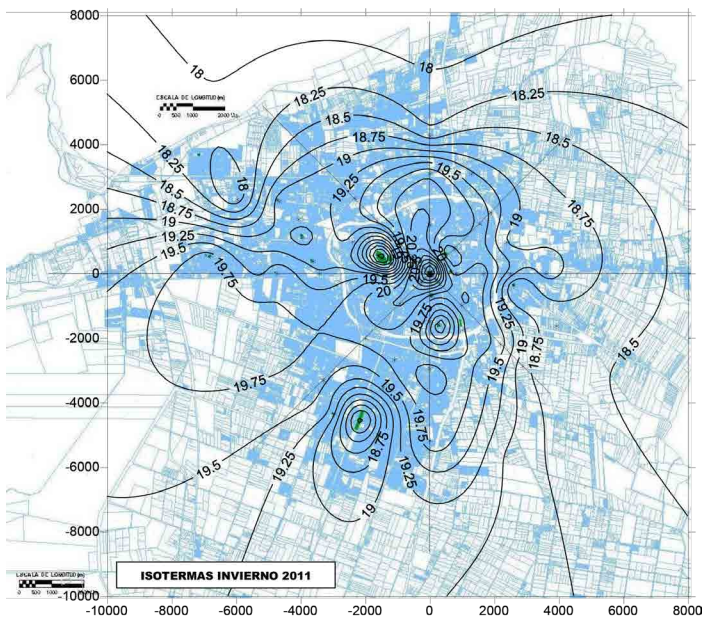


Figura 3: Isotermas de invierno del Área Metropolitana de San Juan – Año 2011.

Fuente: Elaboración propia sobre la base catastral del Área Metropolitana de San Juan.

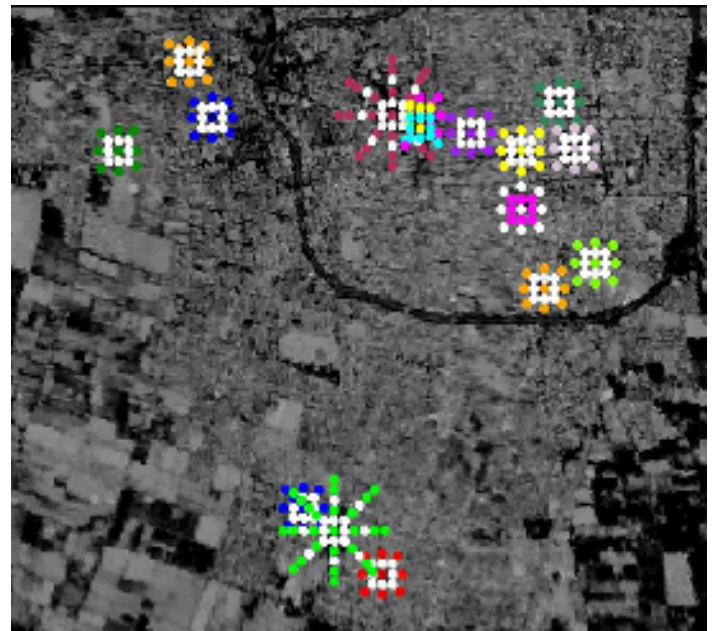


Figura 4: Sector de la imagen satelital procesada para obtención de temperatura del aire de verano 2011, que muestra algunos ejemplos de EVU con 17 y 24 puntos de toma.

Fuente: Elaboración propia.

5.2 ESCALAS ESPACIALES DE ANÁLISIS.

El estudio de la influencia térmica de los EVU se realizó en dos escalas de análisis espacial: a) Escala de la ciudad de San Juan; y b) Escala del EVU.

a) Escala de la ciudad de San Juan: para verificar la afectación de los EVU en todo el espacio urbano, se incorporó información térmica de las mismas imágenes, obtenidas y procesadas por Cúnsulo et al. (2013). Por tanto, a los 19 valores de temperatura del aire de cada EVU, se le incorporaron 64 puntos de medición correspondientes a otros tantos Nodos Urbanos Muestra, representativos del espacio urbano de la ciudad. Con el archivo de datos de 83 puntos referenciados al centro de la ciudad, Plaza 25 de Mayo, se obtuvieron las isotermas de verano e invierno (Figuras 2 y 3).

b) Escala del EVU. Al valor de temperatura del aire representativo del EVU obtenido anteriormente, se le adicionó mayor cantidad de datos conforme su tamaño: en el caso de plazas de aproximadamente 1,4ha, se identificaron 16 datos en su contorno; en los dos parques, los datos incorporados fueron 24. En todos los casos, la distribución de los puntos de registro fue radial, con origen

en el centro de cada EVU y en el eje de los Rumbos y Medio-rumbos cardinales.

En la Figura 4 se presenta la imagen satelital procesada para obtener temperatura del aire de verano 2011. En ella se exhiben algunos ejemplos de EVU con 17 y 24 puntos de toma.

6. ARCHIVO DE DATOS TÉRMICOS ESTACIONALES DE LOS EVU.

Se obtuvo un total de 712 valores de temperatura del aire en los EVU y sus entornos inmediatos y mediatos: 306 por cada estación climática. Esta base de datos se referenció al centro de cada EVU, aplicándose un software de interpolación de datos, con lo que pudieron modelizarse las isotermas de verano e invierno. A modo de ejemplo, en la Figura 5 se muestran las isotermas de verano del Parque de Mayo, localizado en la zona adyacente al área central de la ciudad y su perfil espacial; y en la Figura 6, las correspondientes a la Plaza del Barrio Huazihul ubicada en el área suburbana.

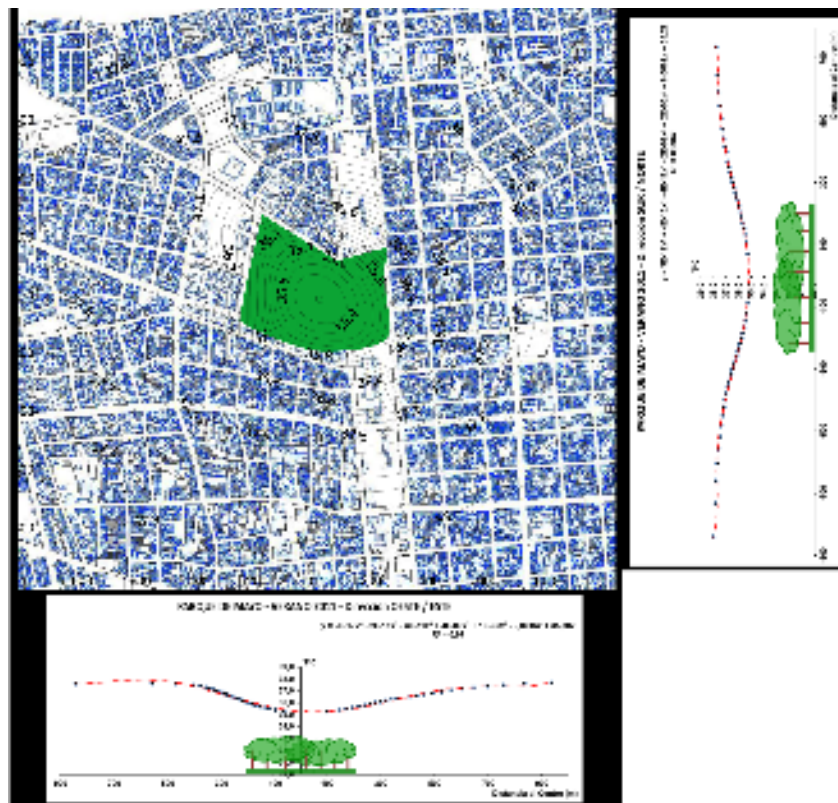


Figura 5: Isothermas Parque de Mayo – verano 2011.

Fuente: Elaboración propia sobre la base catastral del Área Metropolitana de San Juan.

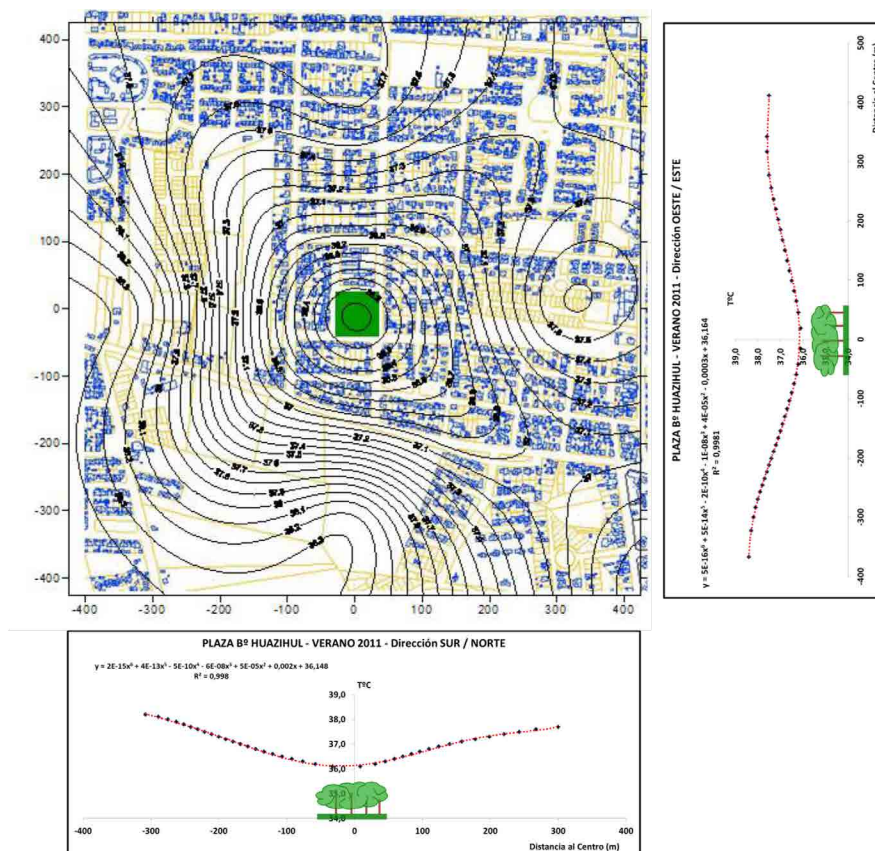


Figura 6: Isothermas Plaza Huazihul – verano 2011.

Fuente: elaboración propia sobre la base catastral del Área Metropolitana de San Juan.

7. EFECTO TÉRMICO DE LOS EVU Y BANDAS URBANAS CARACTERÍSTICAS.

El efecto térmico estacional de los EVU se analiza conforme tres aspectos interrelacionados: climáticos, espaciales y arbóreos. Los indicadores y las variables involucradas en cada caso son:

- **INTENSIDAD** ($\Delta T^{\circ}\text{C}$): diferencia de temperatura existente entre el EVU y su entorno.
- **ALCANCE** (*AI* en m): longitud hasta la cual aumenta el efecto térmico del EVU. A partir de esa longitud el efecto se mantiene constante o casi constante. Se mide con origen en el baricentro de cada EVU y en las direcciones cardinales principales.
- **IMPRONTA ARBÓREA** (*IA* en %): porcentaje de superficie arbórea proyectada sobre el terreno del EVU (medido a 90° sobre el plano horizontal), en relación a la superficie total del mismo.

7.1 BANDAS URBANAS CARACTERÍSTICAS.

La distribución de la temperatura del aire urbano que se aprecia en las isotermas de las Figuras 2 y 3, es consecuencia de la interrelación de todos los elementos de la ciudad, entre ellos los espacios verdes. Por tanto, la influencia térmica que dichos EVU proporcionen, no solo tendrá relación con sus propias características (superficie, morfología, impronta arbórea, especies arbóreas y canopia de su forestación), sino con la modalidad del espacio construido en el cual se inserta: tipología de canales viales, porcentaje de ocupación del suelo, volumetría edilicia.

Para analizar el efecto térmico de los EVU en su entorno urbano se incorporó el concepto de "bandas urbanas características", entendidas como "áreas homogéneas y continuas del ejido urbano, con índices urbanísticos de similar valor que identifican su condición territorial y su estado de situación espacial, comprendidas entre dos isolíneas representativas de Factores de Ocupación del Suelo, las que actuando como límites, determinan una superficie circunvalar al centro principal de la ciudad" (Papparelli *et al.*, 2009: 11).

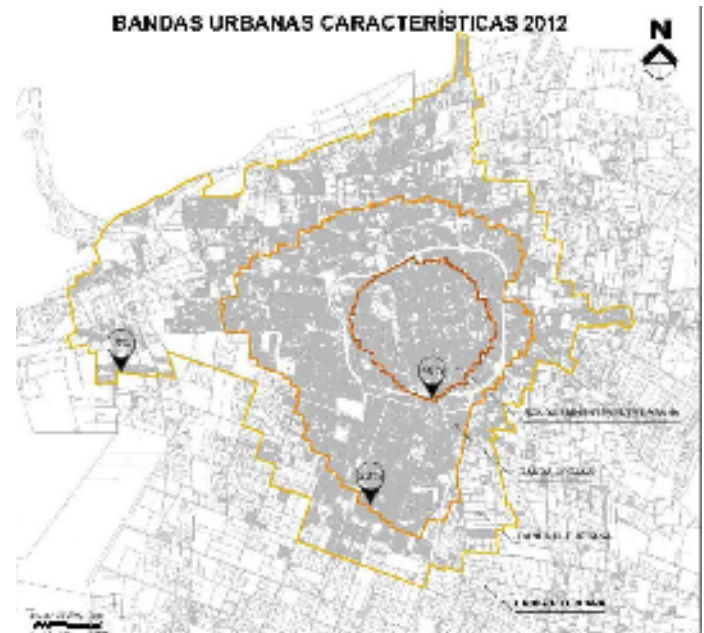


Figura 7: Bandas urbanas características del Área Metropolitana de San Juan.
Fuente: Elaboración propia sobre la base catastral de la ciudad.

En Cúnsulo *et al.* (2013) se obtuvieron las bandas urbanas características del área metropolitana de San Juan del año 2012 (Figura 7). El método define, por medio del factor de ocupación del suelo, cuatro bandas urbanas características: Eminentemente Urbana, Urbana, Suburbana y No Urbana. Los límites espaciales de cada una de ellas se corresponden con la modelización de las isolíneas del factor de ocupación del suelo de acuerdo con los siguientes valores:

Banda eminentemente Urbana:	FOS > 40%	
Banda Urbana:	20% >	FOS >
Banda Suburbana:	5% >	FOS > 20%
Banda no Urbana:	5% >	FOS

Estas bandas se relacionan con las volumetrías edilicias y su consecuente densidad volumétrica.(Figura 7)

La modalidad de la influencia bioclimática de los EVU ubicados en entornos urbanos de diferentes factores de ocupación del suelo y densidad volumétrica edilicia, se analizó en función de sus respectivas localizaciones en las diferentes bandas urbanas características: 9 EVU se ubican en la banda Eminentemente Urbana; 7 EVU en la Urbana y 3 EVU en la Suburbana. En las figuras siguientes se muestran algunas de las correlaciones efectuadas entre la temperatura de los EVU y su entorno, con dos variables: una urbana (distancias al centro de la ciudad) y otra del propio EVU (impronta arbórea). En la Figura 8 se exhiben 3 gráficos correspondientes a cada banda urbana característica, que relacionan las temperaturas de verano con las distancias del

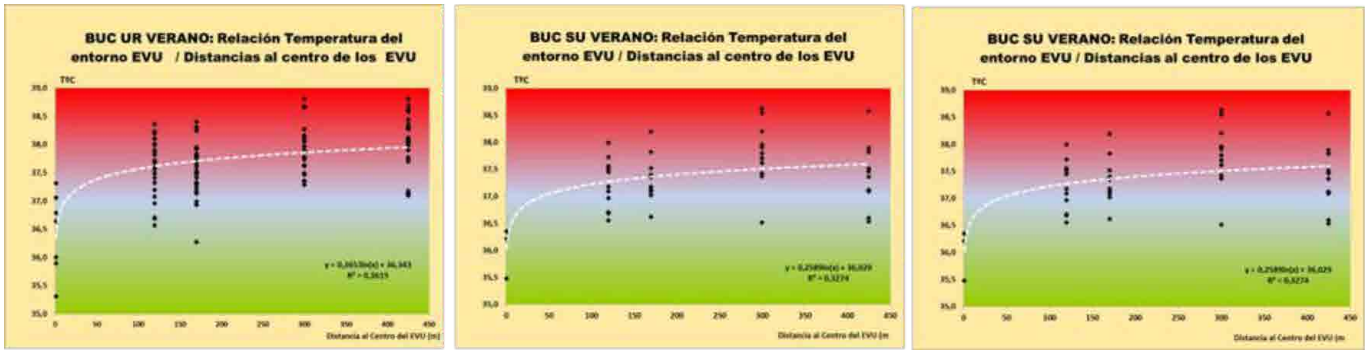


Figura 8: Relación entre las diferencias de temperatura ($\Delta T^{\circ}C$) de verano y las distancias al centro de cada EVU, según bandas urbanas características. Fuente: Elaboración propia.

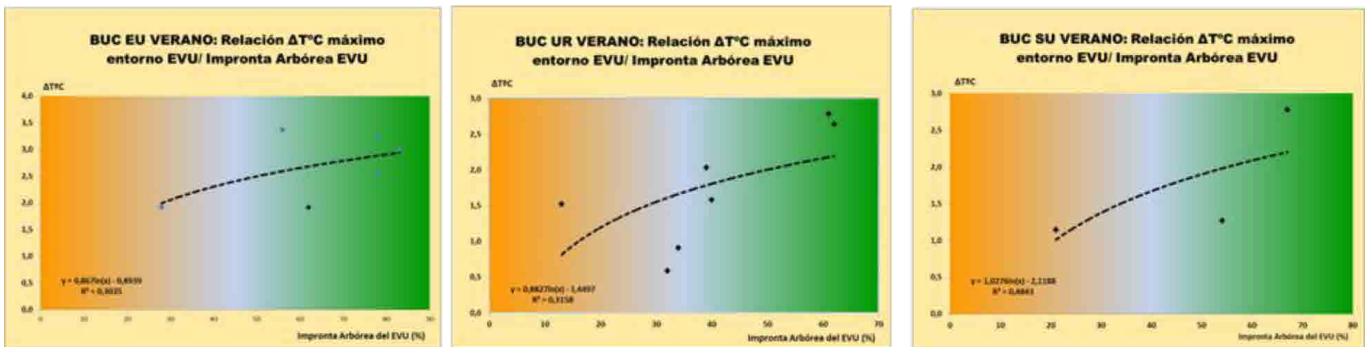


Figura 9: Relación entre las diferencias de temperaturas máximas ($\Delta T^{\circ}C_{máx}$) de verano e improntas arbóreas (%), según bandas urbanas racterísticas. Fuente: Elaboración propia.

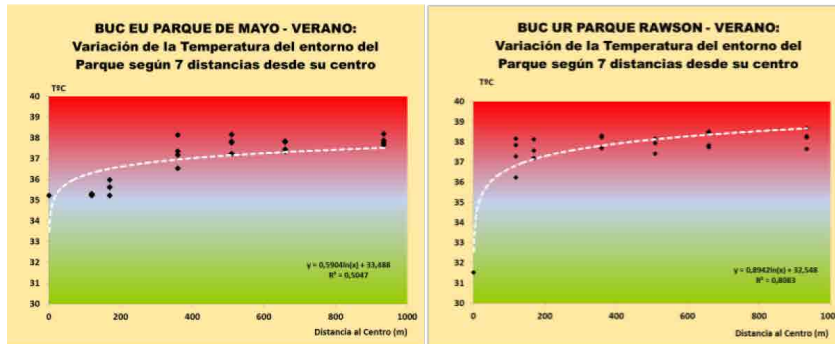


Figura 10: Variación de la temperatura del aire en el Parque de Mayo y su entorno, según 7 distancias a partir del centro (25 datos). Verano. Fuente: Elaboración propia.

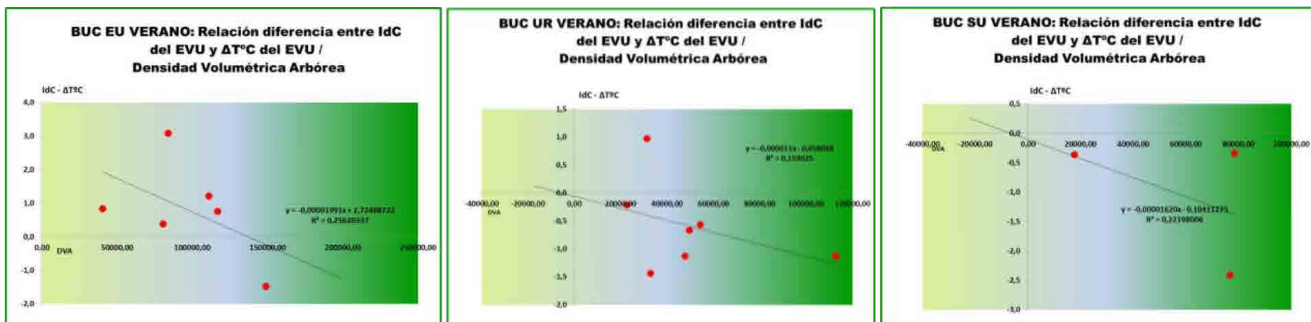


Figura 11: Relación entre las diferencias de isla de calor ($\Delta T^{\circ}IdC$) de verano y densidad volumétrica arbórea (m^3/ha) de cada EVU, según bandas urbanas características. Fuente: Elaboración propia.

EVU al centro de la ciudad; en la Figura 9, la correlación entre improntas arbóreas y diferencias de temperaturas de verano, y en la Figura 10, la variación de la temperatura estival del aire en los parques de Mayo y Rawson, con sus entornos, según 7 distancias, a partir del centro.

7.2 ALCANCES Y MÁXIMA DIFERENCIA DE TEMPERATURA EN CADA EVU.

Con las ecuaciones de las curvas logarítmicas de los gráficos anteriores (y los que no se presentan aquí por cuestiones de espacio), se calcularon los alcances térmicos máximos de los EVU para la banda urbana característica en la que se localizan, y con esa longitud se estimó el $\Delta T^{\circ}\text{C}$ de cada EVU. Los valores obtenidos para el período de verano se muestran en la Tabla 2.

8. EFECTO TÉRMICO DE LOS EVU EN RELACIÓN CON LA ISLA DE CALOR URBANA.

El aumento de la superficie construida producto de la antropización creciente, genera modificaciones al clima macroescalar, uno de cuyos principales aspectos es el fenómeno de la isla de calor urbana, entendida como el calentamiento relativo de la ciudad comparado con las condiciones pre-urbanas (Mazzeo, 1984).

Los grados de antropización, uno de cuyos estudios se aborda a través de las bandas urbanas características, generan respecto al clima de la ciudad uno de sus principales aspectos: la isla de calor urbana, entendida como el calentamiento relativo de la ciudad comparado con las condiciones pre-urbanas (Mazzeo, 1984).

Para analizar el efecto térmico de los EVU integradamente con la isla de calor de la ciudad de San Juan, se lo estudió conjuntamente con la distribución espacial de las isothermas de isla de calor estacionales ejecutadas por Cúnsulo *et al.*, (2013), a partir del procesamiento de las mismas imágenes satelitales utilizadas para el análisis del presente trabajo. El valor de la máxima intensidad de la isla de calor para el año 2012 fue de 5°C en verano y $4,5^{\circ}\text{C}$ en invierno.

Posteriormente, se identificó la isoterma de isla de calor correspondiente a cada EVU y se las relacionó con las diferencias de temperatura que se registraron entre el centro del EVU y su entorno. A la diferencia entre el valor de ambas isothermas, se la denominó "fracción de isla de calor no absorbida por el EVU".

Agrupadas por bandas urbanas características (BUC), en la Tabla 3 constan los datos de cada EVU: densidades volumétricas arbóreas; valor de la isla de calor; alcance

BUC	EVU	ALCANCE (m)	$\Delta T^{\circ}\text{C}$ MÁXIMO ($^{\circ}\text{C}$)
BUC EU	25 DE MAYO	700	1,92
	YRIGOYEN		1,92
	BROWN		3,23
	LAPRIDA		2,54
	FUNES		3,37
	ABERASTAIN		3,00
	ESPAÑA		2,87
	PARQUE DE MAYO	1.000	2,23
BUC UR	PARQUE RAWSON	800	2,75
	SAN MARTIN	700	2,78
	ACCESO SUR		1,52
	VILLA KRAWSE		1,58
	SAN DAMIÁN		0,91
	DEL CARRIL		2,03
	BELGRANO		0,59
	SAN ROQUE		2,64
BUC SU	CAMUS	800	1,14
	Vº OBRERA		1,27
	HUAZIUL		2,78

Tabla 2: Alcance y $\Delta T^{\circ}\text{C}$ máximo de los EVU. Verano.

Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos.

BUC	EVU	DENSIDAD VOLUMÉTRICA ARBÓREA (m^3/Ha)	IMPRONTA ARBÓREA (%)	ISLA DE CALOR VERANO ($^{\circ}\text{C}$)	$\Delta T^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$\text{IIC} - \Delta T^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{C}$)
BUC EU	25 DE MAYO	83937,70	62	5,00	1,92	3,08
	YRIGOYEN	40337,51	28	2,75	1,92	0,83
	BROWN	148965,37	78	1,75	3,23	-1,48
	LAPRIDA	111031,70	78	3,75	2,54	1,21
	FUNES	80495,67	56	3,75	3,37	0,38
	ABERASTAIN	116863,78	83	3,75	3,00	0,75
	ESPAÑA	52063,37	35	3,00	2,87	0,13
	PARQUE DE MAYO	74033,30	43	2,75	2,23	0,52
BUC UR	PARQUE RAWSON	14104,01	14	0,44	2,75	-2,31
	SAN MARTÍN	112860,85	61	1,65	2,78	-1,13
	ACCESO SUR	22661,40	13	1,31	1,52	-0,21
	VILLA KRAWSE	47844,75	40	0,45	1,58	-1,13
	SAN DAMIÁN	54325,64	34	0,34	0,91	-0,57
	DEL CARRIL	49659,49	39	1,36	2,03	-0,67
	BELGRANO	31297,95	32	1,56	0,59	0,97
	SAN ROQUE	32823,10	62	1,20	2,64	-1,44
BUC SU	CAMUS	17687,79	21	0,78	1,14	-0,36
	Vº OBRERA	78389,83	67	0,93	1,27	-0,34
	HUAZIUL	76739,30	54	0,37	2,78	-2,41

Tabla 3: Resumen de datos térmicos y arbóreos. Verano.

máximo del efecto térmico: impronta arbórea y fracción de isla de calor no absorbida por el EVU. En la Figura 11 se presentan las correlaciones $\Delta T^{\circ}\text{C}$ máximo y densidad volumétrica arbórea y en la Figura 12, las correspondientes a " $\Delta T^{\circ}\text{C}$ máximo - Isla de Calor" y densidad volumétrica arbórea.

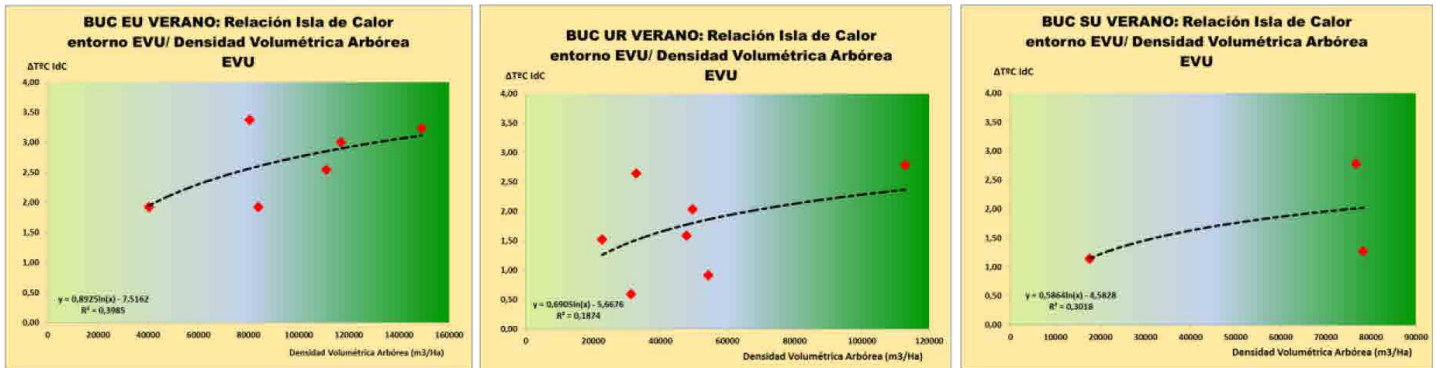


Figura 12: Relación entre las diferencias de la isla de calor y el DT°C máximo del EVU con la densidad volumétrica arbórea, según bandas urbanas características. Fuente: Elaboración propia.

9.RESULTADOS.

a) Resultados para la estación de verano.

- La máxima *INTENSIDAD* del efecto térmico de los EVU disminuye desde el centro urbano a la periferia:

$$EU: \Delta T_{\text{máx}} = 2,71^{\circ}\text{C}; UR: \Delta T_{\text{máx}} = 1,74^{\circ}\text{C}; SU: \Delta T_{\text{máx}} = 1,73^{\circ}\text{C}$$

- El *ALCANCE* máximo del efecto térmico de los EVU aumenta levemente del centro a la periferia urbana:

$$EU: Al_{\text{máx}} 700\text{m}; UR: Al_{\text{máx}} 700\text{m}; SU: Al_{\text{máx}} 800\text{m}$$

- La *IMPRONTA ARBÓREA* mínima que debiera tener un EVU para lograr una *INTENSIDAD* de $\Delta T = 1^{\circ}\text{C}$, aumenta del centro urbano a la periferia:

$$EU: IA_{\text{mín}} 10\% - UR: IA_{\text{mín}} 15\% - SU: IA_{\text{mín}} 20\%$$

Esto quiere decir que para lograr la misma *INTENSIDAD* se requiere mayor porcentaje de impronta arbórea.

- Parque de Mayo:
INTENSIDAD máxima: $\Delta T_{\text{máx}} = 4,08^{\circ}\text{C}$
ALCANCE máximo = $Al_{\text{máx}} 1000\text{m}$

- Parque Rawson:
INTENSIDAD máxima: $\Delta T_{\text{máx}} = 2,75^{\circ}\text{C}$
ALCANCE máximo $Al_{\text{máx}} 800\text{m}$

Para reducir 1°C en el entorno del EVU, se requiere una densidad volumétrica arbórea que resulta muy similar en las tres bandas urbanas características (BUC):

- Para la BUC EU, reducir 1°C requiere una DVA de $14000\text{m}^3/\text{ha}$.
- Para la BUC UR, reducir 1°C requiere una DVA de $16000\text{m}^3/\text{ha}$.
- Para la BUC SU, reducir 1°C requiere una DVA de $14000\text{m}^3/\text{ha}$.

Con esos valores de densidad, por cada grado centígrado que deba reducirse en el entorno del EVU con el fin de compensar la intensidad promedio de la isla de calor y utilizando árboles con una altura media de 12m (altura arbórea promedio en los EVU estudiados), la impronta arbórea necesaria será:

- Para la BUC EU: Promedio de IdC $3,06^{\circ}\text{C}$; $42.840\text{m}^3/\text{ha}$; $3.570\text{m}^2/\text{ha}$; 36% de IA
- Para la BUC UR: Promedio de IdC $1,42^{\circ}\text{C}$; $22.720\text{m}^3/\text{ha}$; $1.893\text{m}^2/\text{ha}$; 19% de IA
- Para la BUC SU: Promedio de IdC $1,21^{\circ}\text{C}$; $16.940\text{m}^3/\text{ha}$; $1.412\text{m}^2/\text{ha}$; 14% de IA

b) Resultados para la estación de invierno:

La máxima *INTENSIDAD* del efecto térmico de los EVU disminuye desde el centro urbano a la periferia:

$$EU: \Delta T_{\text{máx}} = 3,56^{\circ}\text{C}; UR: \Delta T_{\text{máx}} = 1,68^{\circ}\text{C}; SU: \Delta T_{\text{máx}} = 1,57^{\circ}\text{C}$$

El **ALCANCE** máximo del efecto térmico de los EVU disminuye del centro a la periferia urbana:

$$EU: Al_{m\acute{a}x} 1.000m; UR: Al_{m\acute{a}x} 800m; SU: Al_{m\acute{a}x} 600m$$

La **IMPONTA ARBÓREA** mínima que debiera tener un EVU para lograr una **INTENSIDAD** de $\Delta T = 1^{\circ}C$, aumenta del centro urbano a la periferia:

$$EU: IAm\acute{a}n 10\% - UR: IAm\acute{a}n 15\% - SU: IAm\acute{a}n 30\%$$

Es decir que para lograr la misma **INTENSIDAD**, se requiere mayor porcentaje de impronta arbórea.

Parque de Mayo:

$$INTENSIDAD \text{ m\acute{a}xima: } \Delta T_{m\acute{a}x} = 8,87^{\circ}C$$

$$ALCANCE \text{ m\acute{a}ximo} = Al_{m\acute{a}x} 1.500m$$

Parque Rawson:

$$INTENSIDAD \text{ m\acute{a}xima: } \Delta T_{m\acute{a}x} = 4,57^{\circ}C$$

$$ALCANCE \text{ m\acute{a}ximo} = Al_{m\acute{a}x} 1.100m$$

Para reducir $1^{\circ}C$ en el entorno del EVU, se requieren las siguientes densidades volumétricas arbóreas:

- Para la BUC EU, reducir $1^{\circ}C$ requiere una DVA de $15.000m^3/ha$

- Para la BUC UR, reducir $1^{\circ}C$ requiere una DVA de $20.000m^3/ha$

- Para la BUC SU, reducir $1^{\circ}C$ requiere una DVA de $25.000m^3/ha$

Con tales valores de densidad, por cada grado centígrado que deba reducirse en el entorno del EVU para compensar la intensidad promedio de la isla de calor en cada ~~ta~~ esa Banda, y utilizando árboles con una altura media de 12m (altura arbórea promedio de los EVU estudiados), la impronta arbórea necesaria será:

- Para la BUC EU: Promedio de IdC $2,87^{\circ}C$; $43.050m^3/ha$; $3587m^2/ha$; 36% de IA

- Para la BUC UR: Promedio de IdC $1,00^{\circ}C$; $20.000m^3/ha$; $1.667m^2/ha$; 17% de IA

- Para la BUC SU: Promedio de IdC $0,59^{\circ}C$; $14.750m^3/ha$; $1.229m^2/ha$; 12% de IA

CONCLUSIONES.

La sustentabilidad de nuestras ciudades requiere esfuerzos destinados a la disminución de la dependencia de los recursos naturales fósiles, para ofrecer a la población mejores condiciones en su calidad de vida. Como aporte a ese propósito, se han estudiado bioclimáticamente los espacios verdes urbanos en una ciudad de clima árido continental: el Área Metropolitana de San Juan, Argentina.

El trabajo se ha ejecutado a partir de datos estivales e invernales, obtenidos por teledetección con sensores remotos, y termo-referenciados con una estación meteorológica ubicada en el centro de la ciudad. Esta herramienta permitió analizar el efecto térmico de los espacios verdes insertos en contextos urbanos con diferentes índices urbanísticos de factor de ocupación del suelo y densidad volumétrica edilicia. Se trató de conocer, en definitiva, la interrelación bioclimática entre los EVU, el clima urbano árido de la ciudad y la isla de calor resultante.

A continuación, se sintetizan puntualmente conclusiones referidas a las imágenes satelitales como herramientas de planificación urbana bioclimática, y al efecto térmico de los espacios verdes urbanos.

Utilización de imágenes satelitales.

Si bien la adquisición y el procesamiento de las imágenes satelitales para obtención de temperatura del aire, es laborioso y complejo, dichas imágenes resultan una herramienta idónea para trabajos de planificación urbana bioclimática.

Se convalidó el uso de las imágenes satelitales LANDSAT TM para la obtención del NDVI y la temperatura del aire y, por tanto, constituyen una herramienta idónea en trabajos de arquitectura y urbanismo bioclimático.

Es imprescindible complementar los datos térmicos satelitales con mediciones *in situ* para termo-referenciar los datos de sensores remotos.

Aunque el tiempo de obtención de datos no se reduce significativamente, el uso de imágenes satelitales disminuye en gran medida el arduo trabajo de campo que involucra la toma *in situ* con sensores ambientales.

Los resultados convalidan los obtenidos previamente en un trabajo de campo *in situ* referido al efecto de refrescamiento de los espacios verdes urbanos, y permiten ampliar los estudios de eficiencia térmica de los espacios verdes urbanos, tanto en el tiempo como en el espacio.

Efecto térmico de los espacios verdes urbanos.

Se identificaron puntos frescos de la ciudad, en coincidencia con los EVU:

La mayor diferencia de temperatura del aire en el verano entre las áreas verdes más frescas y las **áreas** construidas más cálidas fue de 6,00°C. Se calculó que esa diferencia de temperatura se corresponde con un Índice Diferencial de Vegetación Normalizado - NDVI de 0,582972. Este valor indicaría el índice que deberían tener los EVU para lograr esa diferencia de temperatura.

Se demostró el impacto positivo que ejercen los EVU sobre el clima urbano, confirmando anteriores estudios, con mediciones *in situ*, sobre sus efectos en el refrescamiento de la ciudad.

Se identificó que el efecto térmico de los EVU está fuertemente asociado a la isla de calor de la ciudad, ya que la intensidad del efecto térmico disminuye del centro a la periferia urbana. En consecuencia, para compensar la intensidad promedio de la isla de calor, utilizando árboles con una altura media, la impronta arbórea necesaria en invierno y verano en la Banda Suburbana se reduce a 1/3 de la correspondiente a la Banda Eminentemente Urbana.

La aplicación de los resultados obtenidos redundará en el mejoramiento de las condiciones de confort higrotérmico de la población, tanto en el uso de los espacios abiertos, como en su efecto asociado de disminución de la carga térmica edilicia, proveyendo ambientes interiores bioclimáticamente más sanos y confortables.

Este conocimiento representa una contribución importante a la planificación urbana bioclimática en zonas áridas, al permitir al urbanista utilizar los espacios verdes como amortiguadores de la isla de calor urbana.

10.REFERENCIAS

COTLIER, Carlos., LÓPEZ, Daniel y CORNERO, Cecilia. Apuntes del curso de Posgrado/Maestría en Ingeniería Vial "Los Sistemas de Información Geográfica y Teledetección: Geomática aplicada al uso urbano, regional y medio ambiente". 2010. *Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura*, Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina.

CÚNSULO, Mario, PAPPARELLI, Alberto y KURBÁN, Alejandra. Inferencia de la temperatura del aire urbano a partir del "NDVI" utilizando imágenes satelitales. *Avances en Energías Renovables y Ambiente AVERMA*, 2012, vol. 16, pp. 11.01-11.07.

CÚNSULO, Mario, KURBÁN, Alejandra, PAPPARELLI, Alberto, MONTILLA, Eduardo. Procesamiento de datos térmicos satelitales para la obtención de la isla de calor urbana. *Avances en Energías Renovables y Ambiente AVERMA*, 2013, vol. 1, pp. 11.11-11.18.

GOETZ, S. J., PRINCE, S. D. y SMALL, J. Advances in Satellite Remote Sensing of Environmental Variables for Epidemiological Applications. *Advances in Parasitology*, 2000, vol. 41, pp. 289-307.

KURBÁN, Alejandra, PAPPARELLI, Alberto y CÚNSULO, Mario. Measurements of the Bioclimatic Effects of Groups of Trees in an Argentinian Arid City. *Architectural Science Review*, 2004, vol. 47, n°4, pp. 339-346.

KURBÁN, Alejandra, PAPPARELLI, Alberto, **CÚNSULO**, Mario. y MONTILLA, Eduardo. Shading by urban forests in arid ecosystems. *Architectural Science Review*, 2007a, vol. 50.2, pp. 122-129.

KURBÁN, Alejandra, PAPPARELLI, Alberto, CÚNSULO, Mario, MONTILLA, Eduardo y RÍOS, Eliana. Espacios verdes y temperatura urbana en ecosistemas áridos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente AVERMA*, 2007b, vol. 11, pp. 11.09 - 11.15.

KURBÁN, Alejandra, PAPPARELLI, Alberto, CÚNSULO, Mario, MONTILLA, Eduardo, ORTEGA, Andrés, ROCA, Gabriela y RIPOLL, Verónica. Cobertura bioclimática arbórea en una ciudad de zona árida. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente AVERMA*, 2009, vol. 13, pp. 11.85 - 11.91.

KURBÁN, Alejandra, PAPPARELLI, Alberto, CÚNSULO, Mario, MONTILLA, Eduardo, ORTEGA, Andrés, ROCA, Gabriela y RIPOLL, Verónica. Espacios verdes forestados y población en clima urbano árido. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente AVERMA*, 2010, vol. 14, pp. 11.85 - 11.92.

KURBÁN, Alejandra, CÚNSULO, Mario, ALVAREZ, Analia, MONTILLA, Eduardo y ORTEGA, Andrés. The role of bioclimatic architecture in the reduction of the emission of CO₂ in arid environments. *Environmental Science*. Ed. Trade Science Inc., 2015, vol. 11, issue 6, pp. 171-178.

MAZZEO, Nicolás. *Aplicaciones del Diagnóstico Climático a problemas relacionados con el urbanismo*. Curso Internacional de Posgrado en Climatología. Depto. de Meteorología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 1984.

PAPPARELLI, Alberto, CÚNSULO, Mario y KURBÁN, Alejandra. *Planificación Sustentable del Espacio Urbano*. Buenos Aires: Editorial Klickzowski/NOBUKO, 2009.

PAPPARELLI, Alberto, CÚNSULO, Mario y KURBÁN, Alejandra. *Isla de Calor Urbana obtenida con imágenes satelitales*. Informe proyecto de investigación (2011/2013). CICTCA - UNSJ 21A – 857.

PAPPARELLI, Alberto, KURBÁN, Alejandra, CÚNSULO, Mario, MONTILLA, Eduardo *Características de la Distribución Espacial en el Área metropolitana de San Juan – Estadística 2010*. Buenos Aires: Editorial Klickzowski/NOBUKO, 2015.

PÉREZ GONZÁLEZ, María Eugenia. y GARCÍA RODRÍGUEZ, María Pilar. Estudio de las Bandas Térmicas ETM en la Comunidad de Madrid y alrededores. *El Tiempo del Clima*, 2001, Serie A, n°2, pp. 499-508.

PÉREZ GONZÁLEZ, María Eugenia y GARCÍA RODRÍGUEZ, María Pilar. Cartografía térmica del área metropolitana de Madrid a partir del sensor ETM del Landsat 7. *Anales de geografía de la Universidad Complutense*, Vol. Extraordinario 2002, pp. 377-386

PÉREZ GONZÁLEZ, María Eugenia, GARCÍA RODRÍGUEZ María Pilar y GUERRA ZABALLOS, Antonio. Análisis del clima urbano a partir de imágenes de satélite en el centro peninsular español. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 2003, vol. 23, pp. 187- 206.

SARRICOLEA Pablo, ROMERO Hugo. Cambios de uso y coberturas del suelo entre 1998 y 2004 y sus efectos sobre la configuración de la isla de calor urbana de superficie de Santiago. *Anales de la Sociedad chilena de ciencias geográficas*, 2006, pp. 207-210.

STATHOPOULOU, Marina, SYNNEFA, Afroditi, CARTALIS, Constantinos, SANTAMOURIS, Matheos, KARLESSI, Theoni, AKBARI, Hashem. A surface heat island study of Athens using high-resolution satellite imagery and measurements of the optical and thermal properties of commonly used building and paving materials. *International Journal of Sustainable Energy*, 2009, vol. 28, n° 1-3, pp. 59-76.

VALOR, Enric, CASELLES, Vicente, COLL, César, SÁNCHEZ, Juan, RUBIO, Eva, SOSPEDRA, Francisco. Análisis comparativo del efecto de la isla térmica de la ciudad de Valencia con imágenes TM, MUST y AVHRR. *Revista Teledetección*, N°14 2000, pp. 5-10.

APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS ADAPTATIVOS PARA LA EVALUACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO EN ESPACIOS ABIERTOS, EN MADRID

Artículo
Recibido 07-07-2015
Aceptado 11-15-2015

The application of adaptive thermal comfort indices for open space assessment in Madrid

IRINA TUMINI, Universidad Politécnica de Madrid,
Madrid, España, irina.tumini@upm.es

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

RESUMEN

El estudio de la percepción térmica en los espacios urbanos ha sido un tema de gran interés para numerosos científicos en el último tiempo. La calidad del ambiente externo tiene gran impacto en la sostenibilidad de las ciudades en cuanto que incide en el tráfico peatonal y en las actividades que allí se desarrollan, mejorando o empeorando la experiencia de los usuarios. Existe una extensa literatura sobre el confort térmico, sin embargo y a diferencia de lo que se verifica en los espacios interiores, en el exterior los sistemas de evaluación térmicos aplicados y basados en el estado estacionario tienden a sobrestimar la sensación de disconfort y, en consecuencia, son poco representativos de la percepción real del usuario. En este artículo se exploran las diferencias entre los modelos de adaptación fisiológica (UTCI) y psicológica (ASV) para la definición de la sensación térmica en los espacios exteriores, analizándose cuál de los sistemas se adapta mejor a las condiciones de Madrid y a su uso en la planificación urbana sostenible.

Palabras clave

confort térmico, urbanismo sostenible, espacios urbanos

ABSTRACT

In the last century, the issue of thermal perception in urban spaces has been of great interest for many researchers. The quality of the external environment greatly impacts the sustainability of cities because it influences pedestrian traffic and various outdoor activities, either improving or worsening the user experience. Despite extensive literature on thermal comfort and contrary to what has been verified in indoor spaces, outdoors, the application of thermal assessment systems based on the stationary state tend to overestimate the sensation of discomfort, and consequently do not truly represent user perception. This article explores the differences between the UTCI physiological adaptation model and the AVS psychological adaptation model for the definition of thermal sensation in outdoor spaces, in order to determine which is the most suitable for Madrid climate conditions and use in sustainable urban planning.

Keywords

thermal comfort, sustainable urban planning, urban spaces

EL CONCEPTO DE CONFORT TÉRMICO.

El conocimiento del clima urbano y de cómo afecta a las personas es un tema que ha sido investigado desde hace muchos siglos. Hoy en día el estudio del clima urbano se enfrenta a los retos que demanda la sociedad, cada vez más preocupada por el cambio climático y la sostenibilidad. Eso supone un cambio en las líneas de investigación prioritarias en este tema que se enfocan en entender la relación entre condiciones medioambientales y la percepción del hombre (Fernández García, Galán y Cañada Torrecilla, 2012), en la cual la sensación térmica asume un papel relevante.

Actualmente, existen numerosos índices que han sido desarrollados con el objetivo de relacionar las condiciones microclimáticas locales con la percepción térmica de los usuarios en los espacios públicos. La mayoría de ellos son los llamados modelos estacionarios que se basan en el equilibrio termodinámico entre el ambiente y el cuerpo humano (Figura 1). Entre ellos, hay que recordar el *Predicted Mean Vote* (PMV) (ISO 7730:2005), usado principalmente en los ambientes interiores, y entre aquellos adaptados a los espacios abiertos destaca el *Physiological Equivalent Temperature* (PET) (Höppe, 1999), el *Standard Effective Temperature* (SET) y otros desarrollados para el acondicionamiento climático, para las Olimpiadas de Sídney (Spagnolo y De Dear, 2003).

A nivel español, existe el rango de sudoración, un modelo fisiológico empleado para el diseño del sistema de acondicionamiento climático de la Expo '92 de Sevilla (Guerra Macho et al., 1995) que evalúa condiciones de confort en los espacios interiores y en las zonas de distribución exteriores entre los edificios expositivos. El índice señala la cantidad de sudor secretada por el cuerpo de una persona aclimatada y de constitución media para mantener el equilibrio térmico entre cuerpo y ambiente. El valor empleado para el proyecto de la Expo'92 se representa en la cantidad de sudor en gramos por hora, mediante una función lineal que coloca en las ordenadas la temperatura del aire (°C) y en las abscisas la humedad relativa (%), fijando como valor aceptable el rango de sudoración de 10g/h y como límite de confort 30g/h (Guerra Macho et al., 1995; Tornero, Pérez Cueva y Gómez Lopera, 2006; Fernández García, Galán y Cañada 2012).

Otros sistemas muy utilizados en fase de diseño, son los sistemas gráficos basados en los diagramas psicrométricos como el de Givoni (1998) y el climograma de Olgay (1969). Este último se sustenta en la definición de las condiciones de confort de una persona que desarrolla una actividad física ligera (paseando), vestida con ropa de entretiempo (1 clo), sin viento y a la sombra. Debido a que la adaptación del cuerpo humano tiene una limitación biológica, el nivel de temperatura de confort está fijado en 26,5°C para las zonas calientes y en 21,1°C para las localidades frías. El diagrama puede ser provechosamente

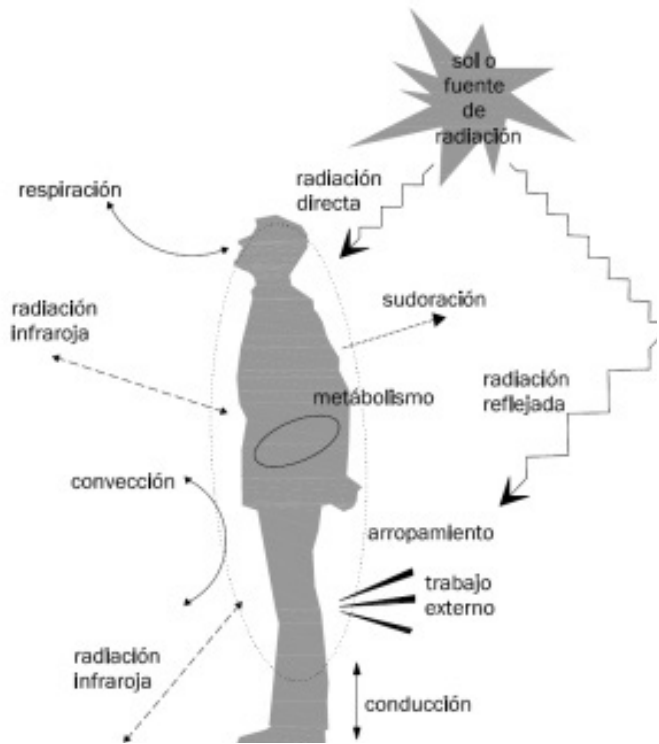


Figura 1. Intercambio de calor entre cuerpo humano y ambiente. Elaboración propia a partir de Jendritzky, de Dear y Havenith (2012).

empleado en el diseño bioclimático para la determinación de las condiciones de confort en cada momento del año y saber cuándo se necesita aportar calor, aportar frío o favorecer la ventilación. Sin embargo, este método ha recibido críticas respecto a los más modernos, por ofrecer estos un mayor grado de detalle en la evaluación del "nivel de comodidad" (González Neila, 2011).

A pesar de los indudables avances que se han producido en la generación de nuevos indicadores de confort térmico para espacios interiores, en los abiertos no se ha alcanzado un acuerdo sobre la definición de un índice único (Johansson, 2006). Eso se debe, en primer lugar, a algunas diferencias sustanciales en las condiciones de partida (Höppe, 2002; Jendritzky, de Dear y Havenith, 2012), como: el tiempo de exposición, normalmente inferior al de los espacios interiores, la actividad física desarrollada y el nivel de arropamiento. Estas variables pueden cambiar en función de la época del año, por ello los índices de confort de tipo estáticos pueden ser empleados en la evaluación de los espacios exteriores solo para exposiciones prolongadas (Höppe, 2002). Y, en segundo término, a que se ha empezado a considerar la influencia de los procesos psicológicos y culturales, a partir de estudios realizados en las playas italianas (Höppe, 1991) y australianas (Queensland) (De Freitas, 1985). Tales estudios demuestran que las personas se exponen voluntariamente a condiciones térmicas que pueden definirse extremas,

Tipo de adaptación	Descripción	Estado
Física	Todas las acciones operadas por el individuo de forma consciente para regular su condición de confort térmico: aumentar o reducir el arropamiento, cambiar de posición o cambiar el propio metabolismo.	Voluntario y reactivo.
Fisiológica	Se considera los mecanismos de aclimatación generados por el cuerpo y que se diferencian según las reacciones fisiológicas en: instantáneas, estacionales o genéticas.	No consciente o involuntario.
Psicológica	El espacio confortable se define como aquel en el que las personas se sienten en condición de bienestar térmico. Los factores que influyen en la sensación de bienestar dependen de la percepción del espacio y de los fenómenos que se producen en él.	Perceptivo o no consciente.

Tabla 1. Tipo de adaptación térmica de las personas a su entorno. Fuente: Elaboración propia a partir de Cena y Clark, 1981; Höppe, 1999; Nikolopoulou y Steemers, 2003; Nikolopoulou y Lycoudis, 2006.

subrayando la importancia de los factores psicológicos en las expectativas térmicas (Höppe, 2002) y contradiciendo a veces los índices basados en los parámetros fisiológicos y en el balance térmico (Nikolopoulou y Steemers, 2003; Jendritzky, De Dear y Havenich, 2012).

Nikolopoulou y Steemers (2003) sugieren que en la adaptación fisiológica y psicológica, la naturalidad, la experiencia, el tiempo de exposición y la percepción sobre el control, son factores muy importantes para la sensación de bienestar térmico. Y la experiencia lo es especialmente, ya que se vuelve fundamental para comprender que en la sensación de bienestar no influyen solo las componentes ambientales y de adaptación fisis-psicológica, sino también otros parámetros subjetivos (Nikolopoulou y Steemers, 2003).

Según la Real Academia Española, la "adaptación" para un ser vivo significa acomodarse a las condiciones de su entorno. Según Nikolopoulou (2003), es la respuesta gradual de un organismo sometido a una exposición repetida de un estímulo, involucrando todas las acciones aptas para mejorar la supervivencia en un ambiente. El hombre reacciona a las condiciones ambientales de forma involuntaria (fisiológica) o consciente (controlada) y, en algunos casos, eso depende de la percepción personal y subjetiva de la sensación de confort (Cena y Clark, 1981; González Neila, 2011). Así, para mantener su estado térmico, el hombre puede recurrir a la llamada adaptación fisiológica y a modificaciones de comportamiento que van desde desplazarse al sol o a la sombra, a usar sistemas de aislamiento como la vestimenta o climatizar el espacio.

En resumen, es posible distinguir dos enfoques de evaluación para los procesos de adaptación: uno basado en el balance térmico entre cuerpo y ambiente, esto es, en la respuesta fisiológica al estímulo causado por determinadas condiciones climáticas; y otro, que involucra a su vez factores psicológicos y de percepción del ambiente. En este trabajo se han evaluado dos índices representativos de los dos enfoques: el *Universal Thermal Comfort Index* - UTCI (adaptación fisiológica) y el *Actual Sensation Vote* - ASV (adaptación psicológica).

MODELO DE ADAPTACIÓN FISIOLÓGICA – UTCI.

El *Universal Thermal Comfort Index* - UTCI es un índice asociado al modelo de adaptación fisiológica resultado de los trabajos de investigación de la Action COST 730¹, que reunió a expertos procedentes de 23 países (Australia, Canadá, Israel, diferentes países de Europa, Nueva Zelanda y EE.UU.) bajo el paraguas de la Comisión de Climatología del WMO².

El nuevo sistema de evaluación de confort nació con el objetivo de crear un índice internacionalmente reconocido, aplicable a diferentes lugares y usos, entre los últimos: dar información meteorológica, alertas públicas, planeamiento preventivo o en las investigaciones relacionadas con el impacto climático en la salud (Jendritzky, de Dear y

[1] Programa Europeo para promover la Cooperación en Ciencia e Innovación Tecnológica.
 [2] World Meteorological Organization (Organización Mundial de Meteorología).

UTCI (°C) rangos	Categorías de Estrés
superior +46	Calor extremo
+38 a +46	Calor muy fuerte
+32 a +38	Calor fuerte
+26 a +32	Calor moderado
+9 a +26	Bienestar
+9 a 0	Frío ligero
0 a -13	Frío moderado
-13 a -27	Frío fuerte
-27 a -40	Frío muy fuerte
inferior -40	Frío extremo

Figura 2. Categorías de estrés térmico del índice UTCI. Fuente: Elaborado a partir de Commission for Thermal Physiology, 2003.

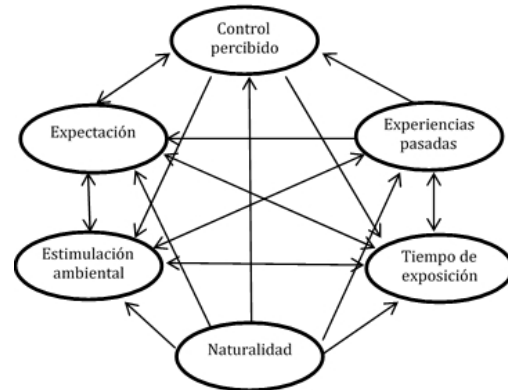


Figura 3. Esquema de influencia entre los diferentes parámetros de la adaptación psicológica. Elaboración propia a partir de Nikolopoulou y Steemers (2003).

Havenith, 2012). Por eso, el sistema debía asegurar una correcta representación del comportamiento del cuerpo humano de un sujeto no aclimatado en espacios exteriores, respecto a un amplio abanico de condiciones climáticas (calor, frío, viento fuerte, humedades muy altas o muy bajas, radiación solar muy fuerte, etc.).

El UTCI sigue el concepto de “temperatura equivalente” (ET) el cual involucra la noción de ambiente de referencia y sus siguientes características: humedad relativa del 50% (presión de vapor máxima de 20 hPa), aire calmo y temperatura media radiante igual a la temperatura del aire. La respuesta fisiológica de la persona fue calculada después de exposiciones de 30 y 120 minutos. El UTCI se expresa en °C equivalentes, asociados a una escala de valores donde se relaciona la temperatura UTCI con el estrés térmico. De acuerdo con este criterio, el estrés térmico se categorizó en una escala ligeramente asimétrica y cuya zona de confort se ubica entre los 9 y los 26°C (ver Figura 2) (Bröde et al., 2012).

El UTCI se desarrolló usando como parámetros de *input* los valores climáticos obtenidos de la información meteorológica convencional: temperatura del aire (T_a , °C), temperatura media radiante (T_{mrt} , °C), contenido de agua en el aire expresado en humedad relativa (H_r , %) o humedad absoluta (H_a , gr). Todos los datos fueron medidos a 2m sobre el nivel del suelo, excepto la velocidad del viento que fue calculada a 10m sobre el nivel del suelo (W , m/s). La estimación de estos parámetros no necesita recurrir a mediciones especiales, aunque las mayores incertidumbres en su cálculo se deben a la dificultad de obtener el valor de T_{mrt} .

MODELO DE ADAPTACIÓN PSICOLÓGICA – ASV.

El *Actual Sensation Vote* (ASV) es el resultado del proyecto de investigación RUROS³, cuyo objetivo consistió en definir un índice asociado a un modelo de confort capaz de representar el enfoque adaptativo, relacionando la sensación de bienestar térmico y los componentes físicos, fisiológicos y psicológicos. Para ello se realizó un trabajo de campo en siete ciudades europeas (Atenas, Salónica, Friburgo, Milán, Cambridge, Sheffield y Kassel) en el que se recopilaban y analizaron más de 10.000 datos. El proyecto nació del reconocimiento de la conexión entre el ambiente físico, los aspectos sociales y las condiciones ambientales en el uso del espacio público. Gracias al trabajo de investigación, se desarrolló una plataforma de análisis de espacios urbanos mediante la combinación del ambiente físico y de los requisitos de los usuarios, generando herramientas de diferente complejidad para la evaluación de la percepción de los espacios abiertos, fácilmente utilizables por los arquitectos y proyectistas (Nikolopoulou y Steemers, 2003; Nikolopoulou y Lykoudis, 2006; Nikolopoulou y Lykoudis, 2007; Tseliou et al., 2010)

El estudio de los datos recabados demostró que las condiciones térmicas ambientales influyen de forma determinante en la decisión de permanecer y usar un espacio al aire libre, aunque se desconoce la influencia de los factores psicológicos y perceptivos. En la Figura 3, se propone un diagrama de conexiones posibles entre los parámetros de adaptación psicológica; la conexión puede ser unidireccional o bidireccional en caso de que ambos parámetros se afecten entre sí.

[3] Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces (RUROS) es un proyecto de investigación, coordinado por el Centro de Energía Renovable (CRES-Centre for Renewable Energy Sources) para el análisis de los espacios urbanos, que combina en sus estudios el contexto físico con el grado de satisfacción de los usuarios.

Los antecedentes recopilados permitieron la formulación del índice de evaluación de la sensación térmica ASV, basado en una escala de 5 rangos que varía de “muy frío” a “mucho calor”. Su cálculo se realiza a partir de la temperatura del aire T_a (°C), la radiación solar global S (W/m²), la velocidad del viento W (m/s) y la humedad relativa H_r (%) (Nikolopoulou, 2004) El concepto de adaptación es intrínseco al modelo y se explicita en la siguiente ecuación lineal:

$$(1) ASV = 0.049 T_a + 0.001 S - 0.051 W - 0.014 H_r - 2.079 \quad (r=0.78)$$

El uso del modelo se limita al rango de temperatura, que va de 5 a 35°C, debido a la falta de mediciones en condiciones ambientales extremas.

OBJETIVOS

El confort térmico es un factor determinante en la calidad de los espacios exteriores de las ciudades, sin embargo, existen todavía muchas incertidumbres sobre cómo medir la sensación de dicho bienestar y de cómo afecta las decisiones del usuario. A partir de la revisión bibliográfica, que nos indica que los índices de confort de tipo adaptativos son los más adecuados para la evaluación de los espacios exteriores, se propone realizar una comparación entre el UTCI y ASV para observar su aplicabilidad en los climas templados secos. El objetivo de este trabajo consiste, por tanto, en analizar la aplicabilidad de los dos sistemas y su utilización en trabajos de diseño y adecuación bioclimática de los espacios urbanos existentes. La selección de los dos índices a estudiar responde a las condiciones que siguen:

- Se trata de índices novedosos en el panorama científico de las investigaciones relativas al confort en espacios urbanos y ambos se proponen superar las comprobadas limitaciones de otros modelos.
- Ambos pueden ser calculados a partir de datos climáticos obtenidos de mediciones *in situ* o de procesos de simulación.
- La evaluación de la sensación térmica se realiza a través de un valor numérico asociado a una escala cualitativa que permite la comparación objetiva de los diferentes casos de estudio.

METODOLOGÍA

Para alcanzar el objetivo se propone un trabajo de investigación aplicado a un caso de estudio en Madrid, basado en la evaluación comparativa de los dos índices y limitado a las condiciones climáticas más extremas, que corresponden a las de verano. El análisis comparativo se realiza usando como referencia el rango de sudoración, parámetro experimental empleado para la evaluación de las condiciones de confort en la Exposición Universal de Sevilla (España) en 1992, y el sistema gráfico del climograma de Olgay, adaptado para espacios exteriores. Ambos sistemas han sido utilizados para el diseño bioclimático de espacios urbanos (Guerra Macho *et al.*, 1995; Fariña Tojo *et al.*, 2013) y han demostrado ser adecuados en presencia de disconfort térmico por calor.

Aunque estos dos parámetros sean muy reconocidos, los sistemas gráficos resultan poco prácticos a la hora de realizar un análisis exhaustivo de datos puesto que si se comparan escenarios que arrojen resultados muy parecidos no se apreciará tal diferencia, sin embargo, si resultan útiles para realizar un análisis global facilitando el análisis entre una cantidad de datos importante. Por eso, el rango de sudoración y la carta de Olgay se han utilizado para la comparación entre el UTCI y ASV.

Las condiciones térmicas de los distintos escenarios de evaluación se calcularán a partir de los resultados obtenidos con la simulación en el software ENVI-met 3.1 (Bruse, 2004). Esta herramienta permite llevar a cabo una simulación numérica de las condiciones microclimáticas en el espacio urbano, a partir de la definición de un modelo 3D y de las condiciones térmicas del contexto. El sistema se apoya en el cálculo computarizado de fluido dinámica (CFD) para la evaluación de la interacción entre superficies-plantas-aire, a microescala en el espacio urbano (*ídem*).

El modelo se ha realizado definiendo un área de estudio de 231x135m, y un mallado tridimensional de 3x3x3m; las materialidades de los edificios se asignaron por defecto en la herramienta, y los elementos de vegetación se seleccionaron entre los más apropiados de su base de datos. En este trabajo, el intervalo de tiempo analizado se ha limitado entre las 9:00 y las 21:00 horas, ya que constituye el periodo de mayor ocupación del espacio público, y los resultados expuestos se refieren a una altura de 1,20m.



Figura 4. Área de estudio del barrio de Moratalaz. Foto aérea y fotos del boulevard y del parking.
Fuente: Googlemaps y elaboración propia, respectivamente.

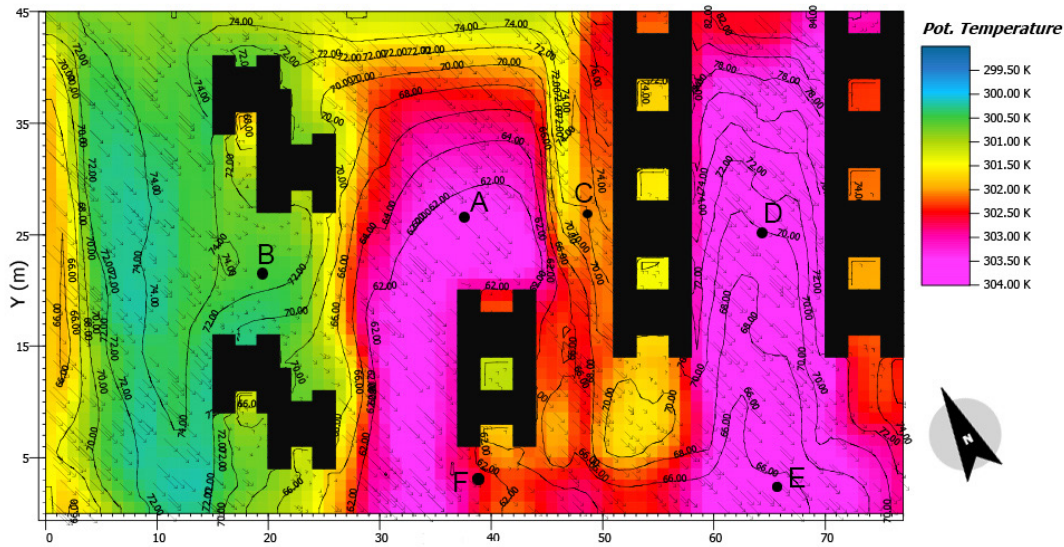


Figura 5. Resultados de la simulación en condiciones de verano a las 15:00 horas. En negro, se indica los edificios, la temperatura se expresa a través del mapa de colores, las isóneas señalan el valor de humedad relativa y las flechas, la intensidad y dirección del viento.
Fuente: Elaboración propia.

DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO.

Los escenarios a evaluar se localizan en Madrid, ciudad que se encuentra al sur de Europa en la zona central de España (40° 26'N 3°41'O), y cuya altura sobre el nivel del mar es de 667m, por lo cual se trata de la capital más alta de Europa. Se caracteriza por un clima templado con veranos secos y calurosos, según la clasificación de Köppen 4, donde las temperaturas medias varían entre los 6°C en invierno y los 24°C en verano, alcanzando picos superiores a los 30°C

en los meses más calurosos (julio y agosto) (Departamento de Producción de la Agencia Estatal de Meteorología de España, Área de Climatología y Aplicaciones Operativas y Departamento de Meteorología e Clima, 2011).

Concretamente, se analizó el Barrio de Pavones en el distrito de Moratalaz, por su representatividad dentro de la tipología urbana de las periferias de la ciudad. El área de estudio está constituida por edificios aislados de 5 y 11 plantas con soportales a lo largo de todo el perímetro, su orientación principal es NE-SO y su acimut sur es de 27°. La organización del espacio libre entre los edificios

	<i>Ta</i>		<i>RH</i>		<i>W [m/s]</i>	<i>Sol Dir</i>	<i>Sol Dif</i>	<i>Sol Ref</i>	<i>Sol Glo</i>	<i>UTCI</i>	<i>ASV</i>
	[°C]	<i>Tmrt [K]</i>	<i>ATmrt</i>	[%]							
Hour 9:00											
a)	22,99	334,90	38,91	67	1,37	791	71,78	14,64	877,42	33,7	0,79
b)	21,83	292,43	-2,40	74,77	0,38	0	71,29	5,62	76,91	22,4	0,09
c)	21,94	294,86	-0,08	74	1	0	48,34	61,52	109,86	22,7	0,09
d)	22,14	323,08	27,94	76	1,09	0	66,9	24,41	91,31	30,9	0,11
e)	22,44	330,66	35,22	73	1,33	791	77,64	2,92	871,56	32,6	0,85
f)	22,51	298,26	2,75	69	0,69	791	72,27	13,67	876,94	24,2	0,83
Hour 12:00											
a)	28,98	339,88	37,9	57	1,49	970,82	105,05	17,97	1093,84	38,8	1,16
b)	26,37	289,89	-9,48	71	0,39	0,14	104	19,17	123,31	25,3	0,31
c)	26,79	300,4	0,61	66	0,95	0	70,75	75,5	146,25	28	0,26
d)	28,17	345,75	44,58	63	1,29	970,82	97,9	29,96	1098,68	40,1	1,22
e)	27,64	333,07	32,43	61	1,32	970,82	113,62	3,59	1088,03	36,5	1,15
f)	28,17	309,18	8,01	59	0,73	338,74	105,76	16,77	461,27	31,1	0,55
Hour 15:00											
a)	30,49	342,48	38,99	56,06	1,71	954,84	102,24	17,68	1074,76	40,5	1,19
b)	27,93	346,63	45,7	68	0,43	0,1	101	18,86	119,96	41	0,34
c)	28,97	335,36	33,39	62,23	1,02	672,37	68,85	74,26	815,48	38,5	0,98
d)	29,93	348,22	45,29	60,5	0,78	954,84	95,29	29,47	1079,6	40,4	1,27
e)	29,28	337,23	34,95	59,79	1,36	954,84	110,59	3,53	1068,96	38,7	1,19
f)	30,13	337,29	34,16	56	1,05	320,91	102,94	16,5	440,35	39,2	0,57
Hour 18:00											
a)	27,95	335,56	34,61	63,29	1,81	689	59,54	12,75	761,29	36,9	0,85
b)	26,95	340,08	40,13	68,94	1,27	688	58,73	14,45	761,18	38,1	0,90
c)	27,28	299,37	-0,91	66,73	1,03	2,88	40,1	53,58	96,56	28,1	0,24
d)	27,87	340,95	40,08	66,68	1,43	689	55,49	21,26	765,75	38,8	0,91
e)	27,88	332,97	32,09	64,8	1,4	689	64,4	2,55	755,95	36,7	0,88
f)	27,98	332,87	31,89	62,56	1,06	689	62,78	5,95	757,73	37	0,87
Hour 21:00											
a)	23,66	289,56	-7,1	71	1,78	0	0	0	0	21,6	-0,02
b)	22,87	287	-8,87	76	0,4	0	0	0	0	21,6	0,09
c)	23,2	289,63	-6,57	73	0,96	0	0	0	0	22,2	0,03
d)	23,23	289,97	-6,26	74	1,22	0	0	0	0	22,2	0,03
e)	23,37	286,79	-9,58	72	1,39	0	0	0	0	21	0,00
f)	23,66	287,27	-9,39	70	0,78	0	0	0	0	21,8	0,02

Tabla 2. Valores obtenidos de la simulación con ENVI-met y valoración del confort con el índice UTCI y ASV para las condiciones de verano. Elaboración propia.

se caracteriza por la presencia de avenidas y zonas arboladas, en el centro del área seleccionada se sitúa un gran aparcamiento con suelo de asfalto sin ningún tipo de protección solar.

Los puntos de observación identificados en el área son:

- a) Centro del área de aparcamiento.
- b) Área de juego de niños.
- c) Fachada oeste del edificio central longitudinal.
- d) Centro del cañón entre los dos edificios lineales de 5 plantas.
- e) Zona dedicada al tráfico vehicular.
- f) Área ajardinada.

En los puntos identificados en la Figura 4 se aplicarán los sistemas adaptativos UTCI y ASV, para evaluar y comparar los valores de confort térmicos obtenidos en condiciones de invierno y de verano.

RESULTADOS

A través de la simulación 3D con la herramienta ENVI-met se obtuvieron los parámetros climáticos necesarios para realizar el cálculo de los índices de confort en condiciones de invierno y de verano. El sistema permite estimar un amplio abanico de resultados que son visualizados, a través de la herramienta LEONARDO, de manera gráfica en secciones horizontales y verticales en los puntos del espacio definidos por el usuario (Figura 4). Aunque tanto las condiciones de verano como las de invierno presentan condiciones de disconfort, el estudio se limitó finalmente al análisis de las condiciones de verano porque resultan ser las más perjudiciales en cuanto a bienestar térmico del espacio exterior de Madrid (Tumini, 2013).

En relación a los resultados de la simulación, se puede observar, en la Tabla 2, que las estaciones a, d y f son las que muestran, en verano, temperaturas más altas

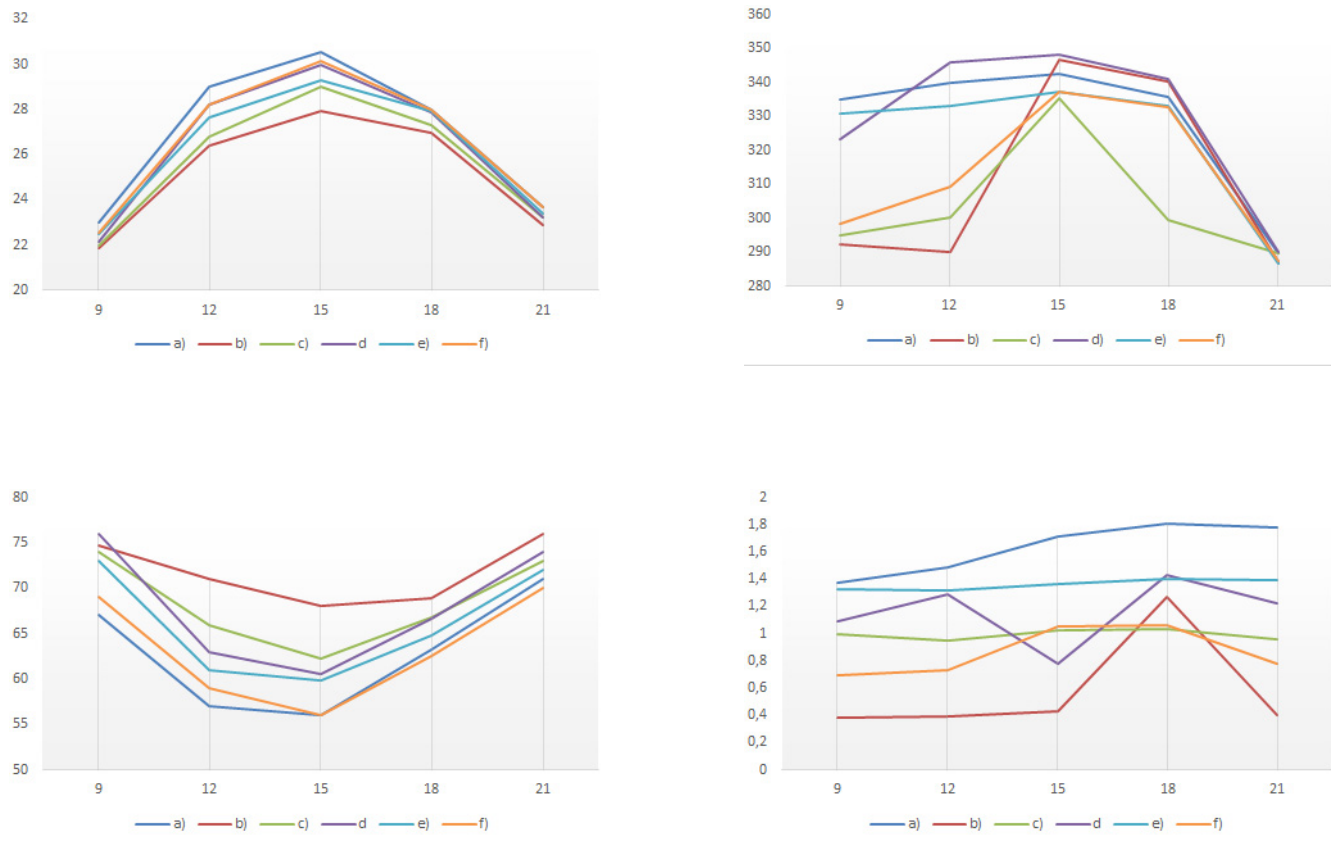


Figura 6. Parámetros climáticos entre las 9 y las 21 horas: a) Temperatura del aire (°C); b) Temperatura media radiante (°K); c) Humedad relativa (%); y d) Velocidad del viento predominante (m/s). Elaboración propia.

debido a que no disponen de ningún tipo de protección. La amplitud térmica media entre el valor mínimo que se registra a las 9:00 horas y el valor máximo que se obtiene a las 15:00 horas es de aproximadamente 8°C. La humedad relativa, sin embargo, tiene un comportamiento inverso a la temperatura, resultando más alta en las zonas con más vegetación y en las primeras y últimas horas del día, y más baja en las zonas de aparcamiento y en las horas más calientes. En cuanto al viento, se constata que su velocidad es más alta en las zonas sin protección.

La valoración del UTCI en verano muestra heterogeneidades en el confort, tanto a lo largo del día como en su distribución en el área. El rango de valoración va de una condición de *no thermal stress* en las primeras horas de la mañana a *very strong heat stress* a las 15:00 horas. A las 21:00 horas se observa una condición constante de *no thermal stress* en toda el área, mientras que en el transcurso del día las diferentes zonas muestran valores UTCI muy diversos. Las estaciones a y d son las que presentan condiciones más desfavorables encontrándose en estrés térmico durante la mayor parte del día. Las zonas ajardinadas son las que muestran unas condiciones más templadas, siendo la

estación c (zona de los bulevares) un verdadero oasis de frío en el área. No obstante, a las 15 horas toda el área se encuentra en una condición de *very strong heat stress*.

La evaluación con el AVS muestra algunos matices diferenciadores respecto del anterior. En primer lugar, la evaluación general es de confort térmico con algunos casos de desconfort por calor en las zonas más calientes a las 12:00 y a las 15:00 horas. Con el AVS se comprueba una subestimación de la sensación térmica, siendo el máximo igual a 1,27 y llegando hasta un valor inferior a 0, correspondiente a una sensación de frío.

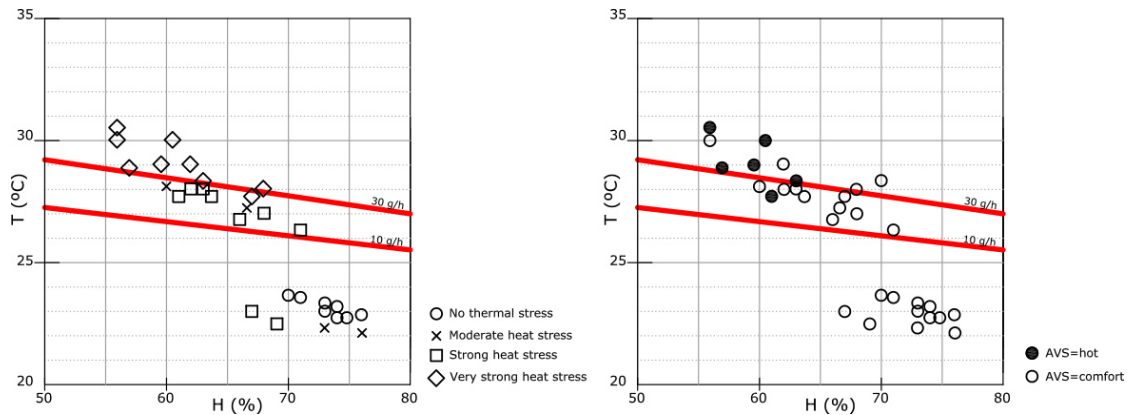


Figura 7. Comparativa entre el rango de sudoración, el UTCI y el ASV. Elaboración propia.

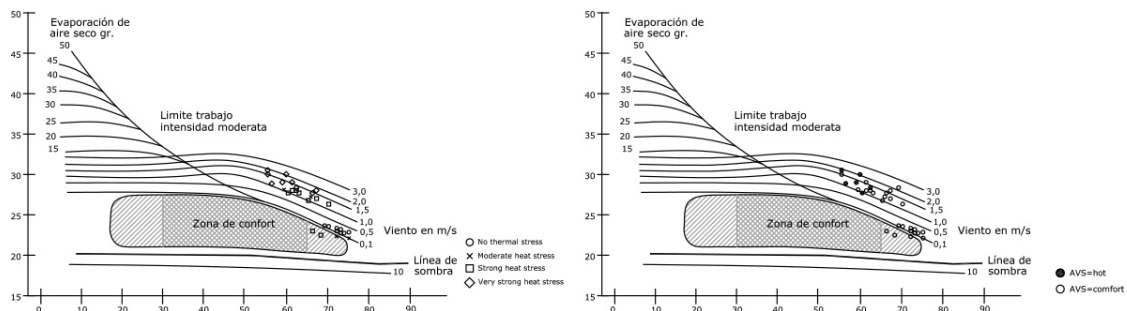


Figura 8. Comparativa entre el climograma de Olgay, el UTCI y el ASV. Elaboración propia.

COMPARACIÓN ENTRE ÍNDICES.

Como se ha dicho, para poder comparar los resultados y tener un rango de referencia de su aplicabilidad al caso de Madrid, los resultados se analizaron respecto a dos sistemas muy empleados: el rango de sudoración (Macho *et al.*, 2006) y la carta de Olgay (1998).

Según se advierte en la Figura 6, la mayoría de los valores de UTCI correspondientes al rango *very strong heat stress* se encuentran por encima de la tasa de sudoración de 30g/h, valor que se ha fijado como límite máximo. Entre las dos curvas de 30g/h y 10g/h, se ubica la mayoría de puntos de rango *strong heat stress* y por debajo del rango de sudoración de 10 g/h, las dos condiciones de *no thermal stress* y *moderate heat stress*, mostrando así una correlación muy cercana entre el sistema de Macho y el UTCI. En cuanto a ASV, la correlación no es igual de cercana, algunos valores que muestran un rango de sudoración superior a 30g/h se indican como estado térmico neutral, al igual que la mayoría de valores localizados entre las dos franjas (10g/h y 30g/h).

A partir de igual metodología se comparan las valoraciones del ASV y del UTCI con el climograma de Olgay, adaptado a las condiciones exteriores. El resultado del índice UTCI es bastante parecido a la comparativa anterior, observándose que los valores de *very strong heat stress* se encuentran por encima de la zona de confort, que la mayoría de los valores *strong heat stress* lo hacen en el límite superior del área de confort y que los valores pertenecientes a los otros dos rangos se hallan dentro del área de bienestar térmico (ver Figura 7).

Para el ASV la correspondencia con la carta de Olgay es inferior, evaluándose muchos de los valores que se encuentran por encima del área de confort como condiciones neutrales y otros, correspondientes a condiciones de calor, como dentro de la zona de confort. En general, se puede advertir que el ASV da una valoración subestimada de la condición de estrés térmico por calor, junto a una sensación térmica discordante con el climograma de bienestar de Olgay.

CONCLUSIONES

El trabajo realizado presenta una comparativa entre la aplicación de dos índices de confort adaptativo, el UTCI y el ASV, aplicados a un caso de estudio en Madrid. La finalidad de dicho estudio es comprobar la competencia de ambos índices en la definición del estrés térmico en clima templado seco y su adecuación al diseño de espacios urbanos, enfocado principalmente a la fase de toma de decisiones en los proyectos de mejoramiento bioclimáticos.

En relación a la definición del estrés térmico, la representación sobre los dos sistemas (rango de sudoración y Olgay) muestran que la valoración realizada con índice fisiológico UTCI es más acorde con las escalas de los modelos gráficos que la proporcionada por el ASV, puesto que el ASV lleva a cabo una subestimación del estrés térmico por calor, tanto en la comparativa con el rango de sudoración como con el climograma.

El análisis realizado muestra que el valor de temperatura UTCI tiene una escala amplia y diferentes rangos de evaluación a través de un número que representa una temperatura equivalente, permitiendo así un mayor detalle en la comparación de los resultados. Por contra, el ASV muestra una variación limitada a un rango (de confort a hot), entregando una evaluación poco representativa de las variaciones espaciales y a lo largo del día. Esto se debe a que la escala del AVS es muy pequeña y por eso poco representativa de las sutiles variaciones ambientales a nivel de la microescala urbana.

En resumen, se concluye que el UTCI demuestra aunar las características más adecuadas a la evaluación de confort ambiental exterior en climas templados cálidos como Madrid, por los siguientes aspectos:

Se calcula a partir de datos climáticos que pueden ser obtenidos de las observaciones *in situ* o de un proceso de cálculo, asociando a las condiciones ambientales la respuesta fisiológica del cuerpo humano.

Está basado en un modelo fisiológico complejo, que tiene en cuenta los procesos de adaptación física y fisiológica para un individuo aclimatado según la época del año.

Es representativo de la condición de bienestar para el clima de Madrid y, sobre todo, en verano.

Proporciona una evaluación sensible a las pequeñas variaciones microclimáticas, facilitando la comparación entre escenarios similares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRÖDE, Peter, FIALA, Dusan, BŁAŻEJCZYK, Krzysztof, HOLMÉR, Ingvar, JENDRITZKY Gerd, KAMPMANN, Bernhard, TINZ, Birger y HAVENITH, George. Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, 2012, vol. 56, no. 3, pp. 481-494.

BRUSE, Michael. ENVI-met implementation of the Jacobs A – gs Model to calculate the stomata conductance (Working paper). In., 2004.

CENA, Krzysztof y CLARK, Jeremy Austin. *Bioengineering, thermal physiology and comfort*. Amsterdam-Oxford-New York: Elsevier, 1981.

COMMISSION FOR THERMAL PHYSIOLOGY OF THE INTERNATIONAL UNION OF PHYSIOLOGICAL SCIENCES, *Glossary of terms for thermal physiology*, *Journal of Thermal Biology*, 2003, vol. 28, nº 1, pp. 75-106

DE FREITAS, Chris. Assessment of human bioclimate based on thermal response. *International Journal of Biometeorology*, 1985, vol. 29, nº2, pp. 97-119.

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN DE LA AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA DE ESPAÑA (ÁREA DE CLIMATOLOGÍA Y APLICACIONES OPERATIVAS) Y DEPARTAMENTO DE METEOROLOGÍA E CLIMA, I. D. M. D. P. *Atlas Climático Ibérico. Temperatura del aire y precipitación (1971-2000)*. Closas-Orcoyen S. L., 2011.

FARIÑA TOJO, José, FERNÁNDEZ ÁÑEZ, María Victoria, GALVEZ HUERTA, Miguel Ángel, HERNÁNDEZ AJA, Agustín y URRUTIA DEL CAMPO, Nagore. *Manual de diseño bioclimático: Manual de recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas*. Bragança (Portugal), Instituto Politécnico de Bragança, 2013.

FERNÁNDEZ GARCÍA, Felipe, GALÁN, Encarna y CAÑADA TORRECILLA, Rosa. *Caracterización del régimen bioclimático medio del área metropolitana de Madrid, mediante la aplicación de la temperatura fisiológica (PET)*. Clima, Ciudad y Ecosistemas, 505-514. 2012

GIVONI, Baruch. *Climate Considerations in Building and Urban Design*. New York: Van Nostrand Reinhold ed., 1998.

GONZÁLEZ NEILA, Francisco Javier. Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible: buenas prácticas edificatorias. *Cuadernos de Investigación Urbanística*, 2011, nº41, pp. 89-99.

GUERRA MACHO, José Julio; CECUDO LÓPEZ, José Manuel, MOLINA FÉLIX, José Luis, ÁLVAREZ DOMÍNGUEZ, Servando y VILA VELÁZQUES, Ramón. *Control climático de espacios abiertos: Evaluación del proyecto EXPO'92*. Ciemat, 1995.

HÖPPE, Peter y SEIDL, Hermann A.J. Problems in the assessment of the bioclimate for vacationists at the seaside. *International Journal of Biometeorology*, 1991, vol. 35, nº2, pp. 107-110.

HÖPPE, Peter. The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 1999, vol. 43, nº2, pp. 71-75.

HÖPPE, Peter. Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy and buildings*, 2002, vol. 34, n.º6, pp. 661-665.

ISO 7730: 2005. Ergonomics of the thermal environment—Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. *Geneva: International Organization for Standardisation*, 2005.

JENDRITZKY, Gerd; DE DEAR, Richard y HAVENITH, George. UTCI—Why another thermal index? *International journal of biometeorology*, 2012, vol. 56, n.º3, pp. 421-428.

JOHANSSON, Erik. Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: a study in Fez, Morocco. *Building and environment*, 2006, vol. 41, n.º10, pp. 1326-1338.

KOTTEK, Marcus, GRIESER, Jürgen, BECK, Christoph, RUDOLF, Bruno y RUBEL, Franz. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 2006, vol. 15 (3), pp. 259-263.

NIKOLOPOULOU, Marialena y STEEMERS, Koen. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and Buildings*, 2003, vol. 35, n.º1, pp. 95-101.

NIKOLOPOULOU, Marialena. *Designing open spaces in the urban environment: a bioclimatic approach*. Centre for Renewable Energy Sources, EESD, FP5, 2004.

NIKOLOPOULOU, Marialena y LYKOUDIS, Spyros. Thermal comfort in outdoor urban spaces: analysis across different European countries. *Building and Environment*, 2006, vol. 41, n.º11, pp. 1455-1470.

NIKOLOPOULOU, Marialena y LYKOUDIS, Spyros. Use of outdoor spaces and microclimate in a Mediterranean urban area. *Building and environment*, 2007, vol. 42, n.º10, pp. 3691-3707.

OLGYAY, Victor. *Desing with Climate*. 3rd ed. New Jersey: Princeton University Press ed., 1969.

SPAGNOLO, Jennifer y DE DEAR, Richard. A human thermal climatology of subtropical Sydney. *Int. J. Climatol.*, 2003, 23, pp. 1383-1395.

TUMINI, Irina. *El microclima urbano en los espacios abiertos. Estudio de casos en Madrid*. Tesis doctoral inédita, Universidad Politécnica de Madrid, 2013.

TORNERO, José; PÉREZ CUEVA, Alejandro y GÓMEZ LOPERA, Francisco. Ciudad y confort ambiental: estado de la cuestión y aportaciones recientes. *Cuaderno de Geografía*, 2006, n.º80, pp. 147-182.

TSELIU, Areti; TSIROSA, Ioannis; LYKOUDIS, Spyros; NIKOLOPOULOU, Marialena. An evaluation of three biometeorological indices for human thermal comfort in urban outdoor areas under real climatic conditions. *Building and Environment*, 2010, vol. 45, n.º5, pp. 1346-1352.

HABITAR EN TIERRAS SECAS LA TIERRA CRUDA COMO VEHÍCULO DE HABITABILIDAD EN EL TERRITORIO NO IRRIGADO DEL NORTE DE LA PROVINCIA DE MENDOZA, ARGENTINA.

Artículo
Recibido 04-18-2015
Aceptado 12-22-2015

INHABITING DRYLANDS

Raw earth as a medium for habitability in the non-irrigated territory in the north of Mendoza Province, Argentina.

VIRGINIA MIRANDA GASSULL, CONICET- Instituto de Cartografía,
Investigación y Formación en Ordenamiento Territorial - CIFOT-
Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina,
arq.vmiranda@gmail.com

RESUMEN

El territorio no irrigado del norte de la provincia de Mendoza es un vasto espacio sin acceso al bien hídrico, donde habita dispersa una población campesina de identidad originaria Huarpe. Habitar en este territorio ha sido desde hace siglos un desafío tanto al clima/ambiente como a condiciones sociopolíticas. Por lo tanto, el hábitat en tierras secas presenta particulares características respecto a su forma de gestión (autónoma), a su adaptación al ambiente y al uso de la técnica constructiva con tierra cruda: adobe. El objetivo a desarrollar aquí se sustenta en el uso actual del adobe, concebido como un vehículo que facilita la autoconstrucción y autoproducción de soluciones habitacionales en poblaciones desposeídas, ajustando su vivienda a las implicancias de un territorio árido y a un largo proceso de vulnerabilidad de derechos. Este artículo aproxima los primeros resultados de los relevamientos realizados sobre la técnica constructiva del adobe (a través de técnicas cuantitativas: encuesta y muestras *in situ*) y las características propias del hábitat social de la población originaria Huarpe, a partir de la técnica de la observación participante.

Palabras clave

hábitat social, tierras secas, construcción colectiva, tierra cruda, adobe.

ABSTRACT

The non-irrigated territory in the north of Mendoza Province is a vast space without access to water resources that is inhabited by a scattered peasant population with native Huarpe origins. For centuries, dwelling in this territory has been a challenge due to both the climate/environment and socio-political conditions. Therefore, the drylands habitat has specific characteristics regarding its form of management (autonomous), adaptation to the environment, and the use of the raw earth construction technique, adobe. This research focuses on the current use of adobe, which is conceived as a medium that facilitates the self-building and self-production of housing solutions in deprived populations, and adapts dwellings to the consequences of an arid territory and a long process of rights infringement. This article presents the first results of surveys conducted on the adobe construction technique (using quantitative techniques: survey and samples *in situ*) and the characteristics of the social habitat of the native Huarpe population based on the participant observation technique.

Keywords

social habitat, drylands, collective construction, raw earth, adobe

1. INTRODUCCIÓN

Las posibilidades de habitar en zonas no irrigadas no es tarea fácil, resulta una proeza vivir con lo escaso. Las poblaciones que habitan en tierras secas presentan características de adaptación al contexto determinadas, denotando una particular forma sociocultural de satisfacer sus necesidades habitacionales. Si bien estos procesos de adaptación a veces surgen como única posibilidad de subsistencia (lo que implica la vulneración de derechos humanos), existen saberes propios capaces de ser valorizados.

Como afirma Guerra Ramírez,

“el desierto ha dado lugar a una forma de vida particular, ha modelado un tipo de hombre, una forma de relación con el cuerpo, con el paisaje desértico singular. El espacio desértico es una experiencia que está relacionada con las grandes distancias, por travesías en extensos territorios sin límite, un recorrido por la inmensidad, por el vacío [...]”. (2006: 2)

Las tierras secas son un espacio extremo para el desarrollo de la vida, lo no quiere decir que esta no exista, por el contrario, abunda en la experiencia cotidiana, donde la arquitectura cobra una dimensión primordial. Por esta razón se denominan tierras no irrigadas o tierras secas, en vez ‘desierto’ (lugar sin vida).

La hostilidad del desierto, en el caso propuesto, se entiende como una variable climática, pero también es concebida como una variable social, dado que las condiciones vulnerables y extremas no son solo producto de las dificultades climáticas, sino también de la acción histórica y actual de un Estado que no alcanza a cubrir las necesidades básicas insatisfechas de la población, principalmente, en materia habitacional.

Por lo tanto, la utilización de la técnica constructiva en tierra cruda es un vehículo de adaptabilidad y habitabilidad en poblaciones desposeídas, las cuales encuentran soluciones a sus viviendas en un ambiente hostil y con claras limitaciones al acceso de todo tipo de recursos.

2. METODOLOGÍA.

Se utilizan dos tipos de técnicas cuantitativas para la recolección de datos: las encuestas y relevamiento de casas/puestos, en las localidades de estudio con participación comunitaria.

Las técnicas cualitativas que se utilizaron fueron la observación participante, la entrevista en profundidad y las historias de vida para la reconstrucción de los procesos históricos del hábitat.

El muestreo fue no probabilístico, de tipo intencional, debido a que los casos seleccionados fueron elegidos por su relevancia para permitir la captación compleja de los fenómenos a través del análisis en profundidad. Los casos elegidos fueron puestos/viviendas que presentaron dos condiciones: calidad en el material de su construcción y residencia en ellas de familias relevantes (considerados informantes claves) dentro de la comunidad por su rol en la elaboración de viviendas y la autogestión comunitaria. A través de las técnicas cuantitativas y cualitativas se obtuvo, en suma, la información necesaria para llegar a las conclusiones obtenidas.

3. HABITAR LA TIERRA SECA.

Cuando el territorio lo es todo.

Las tierras secas del norte de la provincia de Mendoza en Argentina, que constituyen el caso de estudio presentado en este artículo, se ubican en el departamento de Lavalle, el cual es principalmente rural (96% de la población) y posee un centro urbano llamado villa cabecera o “Villa Tulumaya” donde habita la población urbana (4%). En este territorio, al igual que el resto de la provincia, existen dos zonas claramente marcadas: zonas irrigadas y zonas no irrigadas del departamento, las que se hallan determinadas por la relación que existe entre la naturaleza (presencia del recurso hídrico) y las características socioculturales existentes (ver Figura 1).

La población que habita en territorio no irrigado del norte provinciano se identifica como Pueblo Huarpe, que está conformado por trece comunidades, de las cuales once habitan en la zona de estudio, representando el 90% del pueblo indígena de la provincia. Dicho pueblo se encuentra reconocido por el Instituto Nacional de Asuntos Indígenas (INAI) en el marco de la Ley Nacional N° 23.302 (1985).

La pobreza hídrica condiciona las formas de vida de la población del secano, así como las costumbres arraigadas de su cultura. Las comunidades se encuentran dispersas en el territorio no irrigado presentando diferentes manifestaciones de habitabilidad. El extenso territorio abarca 780.000 ha, en el que se ubican tres polos de asentamientos rurales predominantes: conjuntos de caseríos ubicados con una distancia relativamente centrada, como son los parajes de Asunción, San José y Lagunas del Rosario. Los otros parajes habitan de formas más dispersas, con puestos “mimetizados” entre dunas y jarillares, teniendo como referencia la ubicación

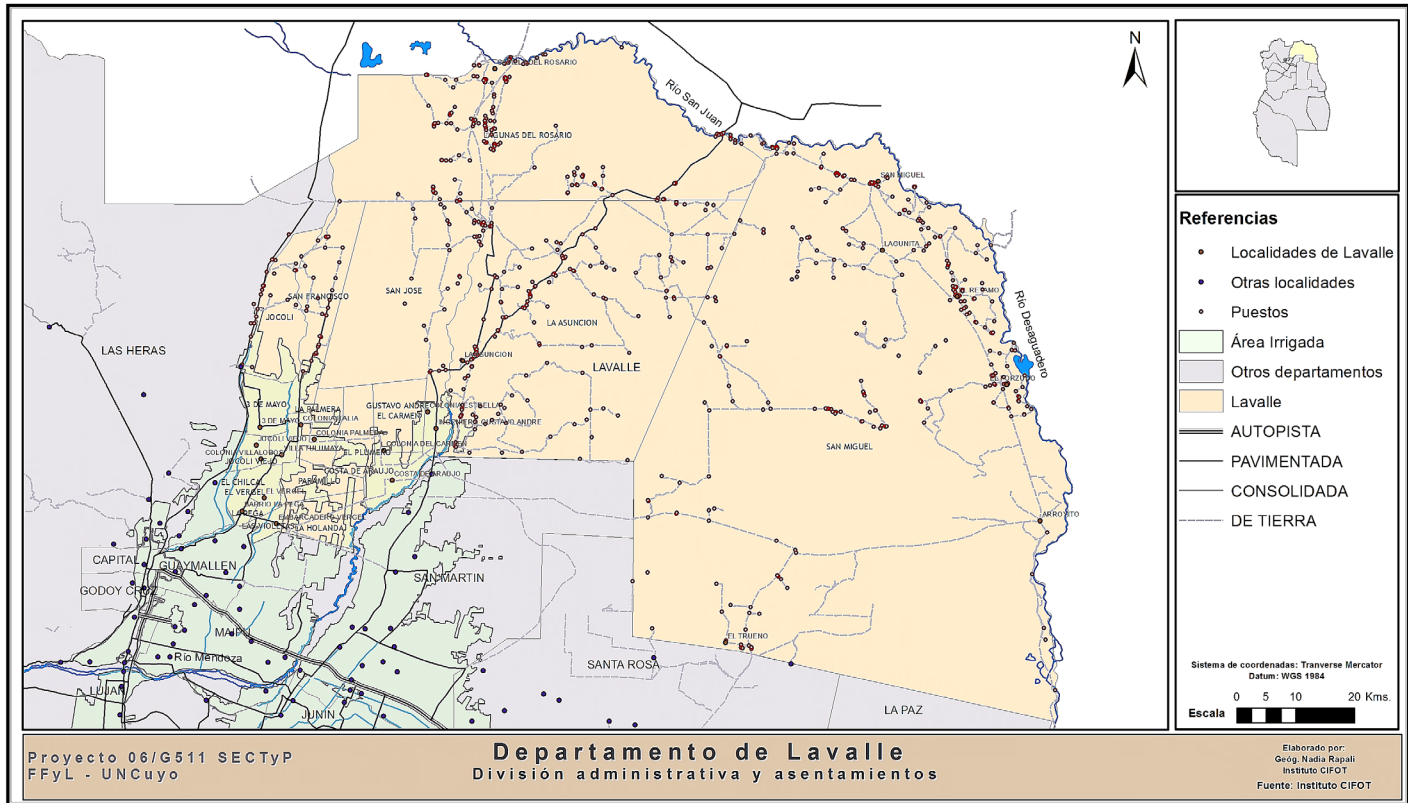


Figura 1. Zona de estudio en mapa de ubicación de puestos del departamento de Lavalle. Fuente: Instituto CIFO, UnCuyo. 2012.
Coordenadas: 32° 11' - 32° 42' Lat. Sur, entre 67°y 68° longitud.

de las escuelas primarias (lugares donde esporádicamente funcionan las postas sanitarias), iglesias o centros comunitarios.

Las comunidades entienden y hablan de territorio, ocupan y usan de forma común al mismo, reconociéndose e identificándose con la preexistencia de la cultura Huarpe, cultura predominante desde antes de la conquista española y de continuidad histórica hasta la actualidad.

Cabe destacar que las comunidades conciben a su territorio como medio y mediación del habitar, ya que en estos desarrollan su existencia. Habitan de forma dispersa y permanente en el territorio donde desarrollan sus actividades productivas, sus usos, costumbres y tradiciones, son un claro ejemplo provincial de la producción social del hábitat.

Actualmente, las comunidades disputan su territorio, como propiedad colectiva, con el Gobierno de la Provincia, entendiendo el dominio de la propiedad a través de un título único que pertenece al Pueblo Huarpe enmarcado según la Ley Provincial N° 6920 de 2001.

Este territorio árido y hostil, y el sistema de uso común de la tierra se contradicen con las disposiciones políticas vigentes y el sentido común de las proyecciones económicas, por lo

que no es un espacio atractivo para la inversión del capital y el despliegue de programas políticos es insuficiente, lo que induce a una marcada fragmentación territorial.

La histórica y actual utilización de la técnica en tierra cruda del adobe se explica tanto por la situación sociopolítica inestable (provocada por la regularización de dominio de la tierra, entre otros condicionantes) que limita a la población Huarpe al acceso de planes-programas de financiamiento de vivienda nueva y/o acondicionamiento de vivienda existente, como por su abundante existencia y el también extenso conocimiento de la técnica por parte de la población para autoconstruir sus viviendas.

En este sentido, el Instituto Provincial de Viviendas de la Provincia de Mendoza tiene actualmente varios programas tendientes a mejorar las condiciones de habitabilidad o financiar la compra de terrenos para la construcción de viviendas unifamiliares de sectores desposeídos. Sin embargo, la mayoría de estos programas no se adecúan a las necesidades de la población de las tierras secas.

Uno de los programas habitacionales en vigencia destinados a poblaciones con situación habitacional crítica, es el Programa de Desarrollo del Hábitat Rural (Res.N°517-2012) que otorga créditos individuales para la compra del terreno, construcción, ampliación, refacción y reparación

de viviendas rurales individuales. Este programa no cumple con las condiciones de las comunidades porque éstos no pueden comprar su tierra.

También existe el Programa Federal de Mejoramiento de Viviendas "Mejor Vivir" II (Res. N° 1247-2011), destinado a la refacción, ampliación o completamiento de viviendas, en cuyo apartado 1.4. se exige como requisito a cumplimentar por los beneficiarios acreditar títulos perfectos sobre su propiedad. Así también, el Plan Provincial de Construcción de Viviendas sociales, rurales y por ayuda mutua (Res. N° 1324-2010) promueve que sea el Municipio el organismo ejecutor del plan de vivienda social, y presenta como requisito en su art.7 que los beneficiarios serán siempre personas de existencia física, que deben cumplir con las cláusulas requeridas en los programas y las normativas generales vigentes del IPV. Ambos programas exigen los títulos de propiedad para acceder al beneficio habitacional. Asimismo, existe un Programa Federal de Vivienda y mejoramiento del Hábitat de Pueblos Originarios y Rurales (Res. 1611-2013) que en su artículo 1° promueve articular dicho plan en el marco de aplicación de la Ley Nacional n° 23302 y la Ley Provincial N° 6920. Respecto a la recuperación de cuotas a aplicar, queda establecido que ésta se realizará vía excepción, por el concepto de subsidio en carácter compensatorio por reparación histórica respecto al monto a invertir en las viviendas. Además, en el artículo 2° se expresa que se debe promover los procesos de consolidación territorial y productiva de las comunidades y en el artículo 4°, que se fomentará la construcción mediante sistemas alternativos al tradicional en concordancia con la protección del medio ambiente, desarrollo de tecnologías regionales, ahorro de energía y respeto por la forma de vida de los pobladores. Estos artículos resultan una promulgación por demás importante, ya que incorpora a otras identidades y patrones culturales a la hora de diseñar soluciones habitacionales desde el Estado.

En este programa, que es el que mejor se adecúa a las necesidades de la población, se exige que la comunidad habite en su unidad productiva de forma permanente, que tengan regularizada la tenencia de la tierra o, en su defecto, que presenten certificado de dominio extendido por la autoridad competente. En el caso de los pueblos originarios, será considerada la certificación del dominio comunitario de la tierra, ya sea ésta propiedad efectiva de la comunidad, o bien, el dominio se encuentre en trámite. Si bien existe toda la intención de diseñar un plan, como el mencionado, que pueda acercarse a las pautas culturales y posibilidades socioeconómicas de la población, la mayoría de las familias no tiene conocimiento, ni acceso a él, y los gobiernos locales no favorecen su implementación en el territorio.

En definitiva, la disputa por la tierra y la inexistencia del título de dominio provoca que las comunidades se hayan visto excluidas de políticas y programas habitacionales (ya que la mayoría exige la propiedad de la tierra) y del acceso a la oferta del mercado. Esto denota que tras varias generaciones han sido los mismos pobladores quienes de forma familiar han producido socialmente su hábitat para resolver sus necesidades habitacionales.

3.1. HÁBITAT DE PRODUCCIÓN SOCIAL.

La forma de organización social de la comunidad estudiada está dada por la autogestión¹, la cual es entendida como una política de vida en pos de garantizar la subsistencia. La autoconstrucción es la manera en que concretan físicamente sus viviendas y contextos mediatos.

Las viviendas son mayoritariamente de adobe y quincha (utilizada para algunos cerramientos livianos), son autoconstruidas (gestión social) por las familias (conocimiento heredado tras generaciones) y carecen en su mayoría del acceso a los servicios básicos. Según las encuestas permanentes de hogares, población y vivienda, son consideradas viviendas de tipo B o "ranchos", siendo insatisfactorias para la habitabilidad. Estos indicadores, muchas veces, obvian viviendas que denotan un claro conocimiento de las técnicas naturales y adaptación al territorio, pero que exhiben un avanzado estado de precariedad en sus revestimientos y en las condiciones de techos, como también escasez de locales, o bien, locales húmedos, que requieren ser optimizados para incrementar la calidad de la habitabilidad interna. Por ello, es necesario conseguir recursos para el mejoramiento del puesto, antes que para la construcción de una vivienda nueva.

Cabe destacar que muchas viviendas no son aptas, sobre todo desde 2014, cuando se vienen produciendo precipitaciones con alto índice de caudal en épocas estivales, las que provocan graves destrozos y deficiencias en las viviendas que no fueron acondicionadas previamente. Los puestos son aquellos caseríos que se encuentran dispersos entre sí, donde las familias practican la actividad ganadera caprina, ubicando la vivienda cerca de los corrales donde tienen sus animales. En muchos casos, el puesto es la vivienda donde reside el hogar, pero en los últimos años, algunos puestos se han desvinculado de la "casa", lugar donde reside la familia.

Las casas, por lo general, no albergan animales, se ubican más cercanas entre sí, aproximadamente entre los 60 m y 90 m de distancia. Habitualmente, las familias que viven en las casas practican artesanías en cuero, en cerámica, telares o tienen cargos en las instituciones del Estado.

[1] Autogestión entendida desde una comunidad que tiene el control en la definición de su producción social del hábitat, pero en un contexto de pobreza y limitaciones, movilizadora por sus propios recursos.

3.2. CONSTRUCTORES DE LA TIERRA CRUDA.

El adobe es un material histórico, hispánico y existente en el medio mendocino. En épocas coloniales permitió el crecimiento urbano, utilizándose como material arquitectónico de la época. A partir del conocimiento de otros materiales como es el ladrillo (tierra cocida), se inicia una paulatina reducción del uso popular del adobe.

Desde mediados del siglo XX comienza, en efecto, a erradicarse la existencia de edificios construidos con este material. Además se empieza a concebir al adobe como un material depreciable, riesgoso y “de pobres”.

La fecha coincide con el terremoto de San Juan (vecina provincia ubicada al norte) de 1944 que provocó una alerta en la provincia de Mendoza y, en particular, en el departamento de Ciudad, y la consiguiente regularización de la situación a través de normas que promovieran la erradicación del adobe en futuras construcciones.

Ponte lo describe así:

“El 25 de agosto de dicho año se sancionó la ordenanza n°3824 referente a “normas generales de cálculo sobre temblores”. Mediante esta ordenanza (artículo 12) se prohibía “toda refacción o toda modificación en los edificios de adobe existentes y en los ladrillos en malas condiciones”. Los acontecimientos posteriores y el propio relevamiento de la construcción predominante, son una demostración de la ineficacia de esta prohibición que ha sido reiterada cada tanto y que hasta la fecha no ha podido ser una realidad.” (1987: 440)

La intervención del Estado para transformar la costumbre y uso del adobe hacia otros materiales, estuvo condicionada también por la concepción de la imagen de una clase social ascendente. En ese sentido, Raffa y Pastor exponen que “el ciclo de prosperidad del primer gobierno peronista, caracterizado por el pleno empleo y la distribución de la renta nacional que alcanzó a las familias obreras y a las clases medias, se manifestó en el reemplazo del adobe por el ladrillo en las viviendas populares” (2012: 472).

Si bien el material fue perseguido hasta que su uso disminuyó en nuevas viviendas y fue reemplazado en las existentes, esto se produjo en las zonas urbanas, ya que en las zonas rurales se sigue utilizando hasta la actualidad, como revela el caso del presente estudio.

Según se ha enunciado previamente, para una población desposeída de recursos, la limitada oferta de planes de financiamiento para vivienda, limita el acceso económico para adquirir otros materiales en corralones, comercios,



Figura 2. Aparejo de sogas del adobe.
Fuente: Elaboración propia. Febrero 2013.

etc., por lo que el bajo costo que viabiliza la construcción con adobe lo vuelve un material altamente solicitado en la comunidad. Además, es accesible tanto en cantidad como en su posibilidad de extracción y transporte hasta el lugar donde se realiza la obra con los medios propios de la población.

3.3. EL ADOBE.

Las comunidades Huarpes, en su dialecto *millcayac*, denominaban a la casa “*hutu*”: el lugar donde vive la persona. Antiguamente utilizaban para la construcción de sus viviendas la jarilla² o zampa blanca (actualmente prohibida por la ley de Bosques, ley 6473/97).

La técnica que se utiliza en la actualidad es el adobe, que mejora notablemente las condiciones del cerramiento de las viviendas respecto a la técnica antigua de la quincha. En muy pocos casos utilizan una estructura adecuada que responda a las condiciones de sismo resistencia exigidas por los códigos de edificación de la provincia. Esta situación está determinada por la recién citada ley que no permite el corte de algarrobo (flora autóctona que era utilizada hace 20 años atrás como estructuras de la vivienda, dadas sus buenas características de resistencia). Sumado a esta situación, no existe provisión de materiales (corralones, empresas constructoras) en el lugar que abastezcan con materiales como madera, cañas, áridos, etc.

La mayoría de los cerramientos de las viviendas se realizan con adobe, mediante una traba a lo largo y alto del muro, amarrando las esquinas con un aparejo de sogas simple. Estas son hileras únicas de adobe donde se muestra el canto, mientras la cabeza (testa) va al lado de la cabeza del siguiente adobe, entre ellas se coloca el barro de unión (ver Figura 2). En las viviendas más antiguas se utiliza la hilera doble de adobe (muros de 40cm). Las hiladas se traslapan en un 50% del largo del adobe para formar la

[2] Jarilla: *Larrea cuneifolia*



Figura 3. Pruebas de selección de la tierra. Fuente: Elaboración propia. Febrero 2013

traba. La mezcla o mortero de unión se hace con la misma mezcla que se utilizó en el adobe (barro empajado) de 2cm promedio entre adobe y adobe tanto en la cara horizontal o tabla como las verticales que coinciden con la testa y los cantos.

La mezcla se hace con greda del lugar, a la cual se le agrega guano de caballo o paja de hormiga (la hormiga acarrea lo que se le llama "tabaco de hormiga"³), que son los restos más pequeños de la plantas. Es muy buena mezcla ya que tiene esencia de jarilla, retamo⁴, chañar⁵ y algarrobo⁶. Este material permite que quede bien dura la mezcla. La dificultad está en encontrar las grandes cantidades requeridas para realizar una mezcla suficiente para la construcción de toda la vivienda.

La tierra o greda (como la denomina la gente del lugar) es arcillo-arenosa y es adecuada para la construcción, según pruebas *in situ* llevadas a cabo antes de una obra realizada en las comunidades. La greda que se encuentra en el secano es producto de descomposición mineral secundaria (se encuentra en esta zona por desplazamiento), es coloide y tiene partículas muy pequeñas y ovaladas. Según pruebas de granulometría (ver Figura 3.a) (consistente en colocar en un recipiente tierra y agua para observar la proporción de los componentes principales de la tierra), existe una proporción similar entre las partículas de arena y las de

limo y arcilla. Esto denota la necesidad de agregar arena en la mezcla para mejorar la estructura de la misma. Las pruebas de plasticidad indican que la tierra es de calidad y, por tanto, adecuada para el uso de mezcla en adobe (ver Figura 3. b). Tal prueba consiste en fabricar un rollo de tierra humedecida y suspenderlo en el aire hasta que se corte. Luego se mide la longitud de corte de los rollos para determinar la calidad de la tierra. Respecto a la resistencia de la mezcla (Figura 3.c), la prueba dio como resultado una mezcla de alta resistencia. Este resultado se obtiene después de haber elaborado 3 discos de tierra de 3 cm por 1,5 cm de espesor y dejarlos secar 48 horas, después de lo cual se comprueba que la muestra no se rompe por el centro, lo que indica dificultad de corte.

La mezcla de adobe se hace en una posada de barro donde se coloca greda, arena de los médanos y bastante guano. La cantidad que se agrega es de aproximadamente un 20% del volumen para el guano y un 10% de arena. Luego se pisa el barro, caminando sobre la mezcla o se puede pisar con los caballos, según la dimensión de la posada. Una vez realizada la mezcla, se deja reposar 48 horas, luego se da una vuelta, dejándola reposar por 24 horas más. Al tercer día se coloca en las adoberas (moldes) que por lo general no tienen fondo, se apoya sobre el tendal, para luego retirar los moldes y dejar los adobes secando por dos días. El adobe es mayoritariamente moldeado con un tamaño grande, con una longitud de 36 cm, un espesor de 17 cm y una altura de 10 cm. Pero también se realiza un adobe medio de 18 cm de longitud, 17 cm de espesor y una altura de 10 cm.

[3] Tabaco de hormiga es una denominación propia del lugar que hace referencia a un tipo de paja que juntan las hormigas del lugar.
 [4] Retamo: *Bulnesia retamo*
 [5] Chañar: *Geoffroea decorticans*
 [6] Algarrobo: *Prosopis flexuosa*

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

La tierra cruda es una técnica tradicional “histórica” que viabiliza la construcción del hábitat en el territorio seco del norte de la provincia de Mendoza. Esta aptitud está dada por diversos motivos los cuales son fuente de discusión en las comunidades y en el resto de la provincia.

Existe una discusión interna en las comunidades a la hora de seguir pensando cómo construir los edificios comunitarios. Las distintas miradas tienen fundamentos sustanciosos sobre si se construye con adobe o con ladrillo cocido. Algunas posturas señalan que el adobe se parte si se hace la unidad en un tamaño grande (36x36x12), mientras que otras afirman que eso sucede debido a la deficiente elaboración de su traba a la hora de realizar el muro, y que, finalmente, existen aún edificaciones en adobe que se mantienen en pie y están en perfecto estado. Así también hay quienes indican que para hacer muros de adobe se necesita una buena estructura, mejorarla con columnas y vigas en hormigón armado, mientras otros aseveran que basta con disponer de palos o rollizos bien vinculados para soportar la estructura. El adobe es un material que brinda mejores cualidades térmicas para las distintas estaciones, no así el ladrillo, como comenta un integrante del grupo que vive en una casa de este último material: “ahora a l’hora de la siesta tengo que salir disparao, no se puede uno quedar durmiendo la siesta”.

Otras miradas sobre el ladrillo afirman que es eterno, que son edificios para siempre, que al ser cocidos los ladrillos no quedan húmedos, mientras que otros discuten que el adobe también queda seco si es bien realizado el proceso, y que también los edificios duran años. En conclusión, la charla finaliza con la problemática que implica el corte de adobe, trabajo muy forzoso que a la hora de realizar un proyecto de construcción, implica mucho desgaste por parte de los constructores quienes de forma voluntaria aportan al proyecto comunitario o vivienda unifamiliar. Además, resulta más factible solicitar financiamiento para la compra de ladrillos a empresas constructoras que tiene en stock este material, que conseguir dinero para la remuneración de los cortaderos de la comunidad. Por lo que queda a consideración de los usuarios la utilización o no del adobe, dependiendo de las posibilidades que se presenten de conseguir líneas de financiamiento.

Las líneas de financiamiento son otorgadas por entes provinciales y/o nacionales que por dos motivos fundamentales no viabilizan las posibilidades de construcción del hábitat con tierra cruda en el secano. Un motivo está dado por las luchas territoriales que mantienen

las comunidades originarias con el gobierno provincial, por lo que aún no tienen los títulos de sus tierras, imposibilitando el acceso a las líneas de financiamiento que otorga el Instituto Provincial de la Vivienda (IPV). El IPV, si bien ha intentado realizar algunas intervenciones de mejoramiento en las condiciones de las viviendas de estas zonas, no puede desarrollar programas por la falta de resolución respecto a la tenencia de tierras (requisito indispensable para acceder al financiamiento habitacional de este ente gubernamental).

Asimismo, existen en los municipios códigos de edificación sismo resistentes que promueven la “erradicación del adobe” y los financiamientos provinciales o nacionales en su mayoría no contemplan las técnicas propias del lugar, a excepción de proyectos únicos que requieren de una serie de documentos y trámites interminables para su aprobación. Esto provoca una pérdida del valor y reconocimiento de la técnica constructiva, en la medida en que no se contemplan las formas tradicionales de habitar el secano, lo que acaba encrudeciendo la discusión interna en las comunidades del material y técnica constructiva.

5. CONCLUSIÓN.

Luego de varios relevamientos realizados en la zona se puede observar que existen saberes propios del lugar que deben ser valorados para viabilizar la habitabilidad de las comunidades en una zona difícil, ya sea por sus condiciones climáticas como por su valor histórico-cultural.

Las comunidades realizan sus viviendas producidas socialmente como única posibilidad de acceso al hábitat, esto trae aparejado una cultura que se transmite por generaciones, estableciendo y manteniendo saberes propios, pero marginales con respecto a las políticas de hábitat de la provincia. Es suma, la técnica en tierra cruda es un vehículo de habitabilidad de las comunidades que debe ser potenciado y legitimado por la provincia, entendiendo que las viviendas en adobe no son sólo ranchos, sino que son un valor patrimonial y constituyen el esfuerzo de una población por habitar en un territorio tan crudo físicamente e históricamente conflictivo.

Las muestras de material y la utilización de técnicas cuantitativas/cualitativas en la población permiten legitimar el saber científico de otras formas de reproducción de la vida, específicamente en la concepción de habitar y del territorio de comunidades rurales marginales. Las entrevistas en profundidad y el desarrollo de encuestas posibilitan tomar conocimiento de aquellos saberes populares que

tienen validez científica en el ámbito constructivo. Las muestras de material permiten verificar la calidad de los adobes que se están realizando a partir de ensayos de fácil manipulación y verificación, que son posibles de reproducir por los constructores del lugar.

El aporte necesario que se plantea aquí apunta a integrar a los saberes constructivos de la zona, nociones estructurales que mejoren las condiciones sísmo resistentes del lugar, viabilizando líneas de financiamiento que posibiliten el mejoramiento en las condiciones del hábitat. Además de ampliar el conocimiento científico a través de otras modalidades de vida que forman parte de nuestra sociedad, contribuyendo a desarrollar un conocimiento integral orientado a mejorar las condiciones de vida de dichas poblaciones.

Se considera que el Programa Federal de Vivienda y Mejoramiento del Hábitat de Pueblos Originarios y Rurales (Res. 1611-2013) es el camino para recuperar las condiciones de habitabilidad, reforzando "la construcción mediante sistemas alternativos al tradicional en concordancia con la protección del medio ambiente, desarrollo de tecnologías regionales, ahorro de energía y respeto por la forma de vida de los pobladores". Esto implica que los programas habitacionales por parte del gobierno pueden incorporar otras técnicas de construcción que sean adaptables a las comunidades adonde se dirigen las acciones del gobierno. Para la aplicación de estas medidas es necesario también incorporar a los ámbitos científicos el estudio de dichas técnicas y formas de construcción, optimizar las relaciones entre gobiernos locales/provinciales y nacionales para aunar los criterios necesarios, de manera de ampliar la cartera de técnicas "permitidas" e incorporar la voz de las comunidades en la confección de sus propios planes habitacionales.

6. AGRADECIMIENTOS.

Se agradece al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la República Argentina –CONICET-, a la Universidad Nacional de Cuyo y al Pueblo Huarpe Millcayac por facilitar los medios necesarios para realizar la investigación en curso.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Guerra Ramírez, José. Una arquitectura para el Desierto. *Revista AUS*, 2006, n°2, pp. 10-12.

Instituto Provincial de la Vivienda Mendoza [en línea]. [Consultado 20 dic. 2015] Disponible en: http://www.ipvmendoza.gov.ar/programas/programas/ProgramasEnUSO/PROGRAMAS_HABITACIONALES_EN_USO2.pdf

Ley Nacional N° 23.302 de Asuntos Indígenas [en línea], 1985. [Consultado 15 dic. 2015] Disponible en: <http://coleccion.educ.ar/coleccion/CD9/contenidos/documentos/doc12/index.html>

Ley Provincial N° 6920. Reconocimiento preexistencia étnica cultural del Pueblo Huarpe Milcallac, respeto por la identidad. Adhesión a la Ley Nacional 23302. Instituto Nacional de Asuntos Indígenas. Declaración de la utilidad pública de la expropiación del terreno [en línea], 2001. [Consultado 15 dic. 2015] Disponible en: <http://www.ipvmendoza.gov.ar/programas/programas/ProgramasEnUSO/Pueblos%20originarios/Ley%206920.htm>

Programa Federal de Vivienda y Mejoramiento del Hábitat de Pueblos Originarios y Rurales (Res. 1611-2013) [Consultado 15 dic. 2015] Disponible en: <http://www.ipvmendoza.gov.ar/programas/programas/ProgramasEnUSO/Pueblos%20originarios/1611-13.pdf>

Ponte, Jorge Ricardo. *Mendoza, aquella ciudad de barro. Historia de una ciudad andina desde el siglo XVI hasta nuestros días*. Mendoza: CONICET, 2008.

Raffa, Cecilia y Pastor, Gabriela. Representaciones, turismo y Estado. Imágenes y discursos en torno de los paisajes culturales de Mendoza (Argentina). *Pasos Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 2012, vol. 10, pp. 467-476.