



Revista  
Hábitat  
Sustentable

ISSN 0719-0700  
Vol. 7 N°. 1  
Junio  
2017



UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO





**Revista  
Hábitat  
Sustentable**

ISSN 0719-0700

Vol. 7 N°. 1

Junio

2017



**UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO**

**RECTOR:**  
HÉCTOR GAETE FERES

**DECANO FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO:**  
MARÍA CECILIA POBLETE ARREDONDO

**DIRECTOR GENERAL:**  
Dr. RODRIGO GARCÍA ALVARADO / Departamento de Teoría y Diseño de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío - Bío, Concepción, Chile  
rgarcia@ubiobio.cl

**EDITORA GENERAL:**  
Dra. CLAUDIA MUÑOZ SANGUINETTI / Departamento Ciencias de la Construcción, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile  
clmunoz@ubiobio.cl

**PRODUCTORA EDITORIAL:**  
JOCELYN VIDAL RAMOS / Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile  
javidal@ubiobio.cl

**CORRECCIÓN DE ESTILO:**  
Dra. OLGA OSTRIA REINOSO, Departamento Estudios Generales

**COMITÉ PRODUCTIVO:**

Dra. M<sup>o</sup> BEATRIZ PIDERIT MORENO / Departamento de Teoría y Diseño de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío - Bío, Concepción, Chile

Dra. PAULINA WEGERTSEDER / Departamento de Teoría y Diseño de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío - Bío, Concepción, Chile

**CONSEJO EDITORIAL:**

Dr. ALEXANDER GONZÁLEZ CASTAÑO / Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, Medellín Colombia.

Dr. OLAVO ESCORCIA OYOLA / Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

MSc HERNÁN ASCUI FERNÁNDEZ / Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile

Dra. MAUREEN TREBILCOCK KELLY / Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.

Dr. ERNESTO ECHEVERRÍA VALIENTE / Universidad de Alcalá, Madrid, España.

Dra. CRISTINA ENGEL / Universidad Federal, Vitoria, Brasil.

Dr. ERNESTO KUCHEN / Universidad Nacional de San Juan, Argentina

Dr. FLAVIO CELIS D'AMICO / Universidad de Alcalá España, Madrid, España

**TRADUCCIONES:**  
THERESA ST JOHN

**DIRECTOR DE ARTE Y DIAGRAMACIÓN:**  
IGNACIO A. SÁEZ ARANEDA

**FOTOGRAFÍA PORTADA:**  
Dra. M<sup>o</sup> BEATRIZ PIDERIT MORENO / Viña Clos Apalta Lapostolle, enero 2017

**DIRECCIÓN:**  
Avda. Collao 1202  
CP: 4081112, Concepción, Chile  
TEL.(56-41)3111409

**VENTAS:**  
GUSTAVO ROSSI TORRES  
grossi@ubiobio.cl  
TEL.(56-41)3111612

Revista HS indexada en Emerging Source Citation Index de Web of Science de Thomson Reuters, Avery Index, Latindex catálogo, Open Archives, Dialnet, Redib, Ebsco, JournalTOCs, Rebiun y ARLA (Asociación de Revistas Latinoamericanas de Arquitectura).

Los criterios expuestos en los artículos son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no reflejan necesariamente la opinión de la dirección de la revista.

Revista Hábitat Sustentable es editada por el Departamento de Diseño y Teoría de la Arquitectura de la Universidad del Bío-Bío, es financiada por el Fondo de Publicaciones Periódicas de la Vicerrectoría Académica, la Dirección General de Investigación, Desarrollo e Innovación y la Dirección de Postgrado de la Universidad del Bío-Bío.



## 05 EDITORIAL

Dr. Rodrigo García , Dra. Claudia Muñoz Sanguinetti

## 06 VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA METODOLÓGICA DE ALONSO-FRANK & KUCHEN PARA DETERMINAR EL INDICADOR DE NIVEL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL USUARIO DE UN EDIFICIO RESIDENCIAL EN ALTURA, EN SAN JUAN - ARGENTINA

Alción de las Pléyades Alonso Frank, Ernesto Kuchen

## 14 LA VEGETACIÓN COMO SISTEMA DE CONTROL PARA LAS ISLAS DE CALOR URBANO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA

Maria Goretti Salas Esparza, Luis Carlos Herrera Sosa

## 24 LAS ENVOLVENTES CONSTRUCTIVAS EN LA CONSTRUCCIÓN NO CONVENCIONAL DE EDIFICIOS DEL NORDESTE ARGENTINO Y EL PROBLEMA DE LOS PUENTES TÉRMICOS

Manuel Venhaus Held, Herminia María Alías Soto, Guillermo José Jacobo Brozzoni

## 32 CONFORT TÉRMICO EN ESPACIOS VERDES URBANOS DE AMBIENTES ÁRIDOS

Alejandra Kurbán López, Mario Cúnsulo Grasso

## 44 INFLUENCIA DE LA MORFOLOGÍA URBANA SOBRE LA HABITABILIDAD TÉRMICA EXTERIOR EN UNA CIUDAD DE CLIMA ÁRIDO.

María Belén Sosa Castro, Erica Norma Correa Cantaloube, María Alicia Cantón

## 54 ¿CUÁNTO NOS IMPORTA LA CLASE ENERGÉTICA DE NUESTRAS VIVIENDAS? UN ANÁLISIS DEL NIVEL DE COMPRENSIÓN DE LOS EPC, DISPOSICIÓN Y MOTIVOS DE PAGO EN BARCELONA.

Carlos Marmolejo Duarte, Alejandra García-Hooghuis, Anna García-Masiá



## EDITORIAL

Presentamos la primera edición del año 2017 de la Revista Hábitat Sustentable y habiendo transcurrido ya seis años desde que la publicación naciera, debemos destacar logros notables. En primer lugar, mantener dos ediciones semestrales con media docena de artículos de investigación seleccionados anónimamente por evaluadores externos, expresa una relevante producción científica destinada a reducir el impacto ambiental de las edificaciones, como también un gran esfuerzo editorial, del equipo académico y técnico de la Universidad del Bío-Bío. Adicionalmente, la revista ha obtenido indexaciones de relevancia internacional que, como sabemos, expresan su calidad editorial y científica, validando así el trabajo de los investigadores y editores. Estas voluntades son especialmente valiosas si recordamos que se trata de la primera publicación científica latinoamericana dedicada a la sustentabilidad del ambiente construido, cuyo espíritu es respaldar y divulgar el desarrollo académico en arquitectura, construcción, diseño y urbanismo frente a los desafíos ecológicos.

A partir de esta edición, se avencinan nuevos avances en la Revista Hábitat Sustentable. Damos la bienvenida a tres destacados investigadores al Comité Editorial, quienes, sin duda, ampliarán la orientación internacional de la revista: la Dra. Cristina Engel de la Universidad Federal, Vitoria, Brasil; el Dr. Alexander González Castaño de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, Colombia; y el Dr. Ernesto Kuchen de la Universidad Nacional de San Juan, Argentina. Se aproxima, además, la migración del sistema de gestión (*Open Journal System*) a una nueva versión más actualizada, que ciertamente mantendrá el acceso libre a los artículos publicados. Asimismo, éste es el segundo número que se indexa en *Web of Science, Emerging Collection*, lo cual permite aumentar el alcance de los trabajos seleccionados. Esperamos también avanzar en una propuesta de alta visibilidad para los artículos y de edición rápida, para ofrecer a los autores más posibilidades de divulgación de sus investigaciones, y para lograr, de igual forma, un mayor alcance en el medio profesional en aras de actualizar sus prácticas y contribuir en el desarrollo de edificios y áreas urbanas con menor impacto ambiental.

Deseamos, en particular, reconocer muy especialmente el trabajo desinteresado de los revisores externos, que desde su especialidad en el área e importante trayectoria, garantizan la calidad científica de los artículos, seleccionando los textos y colaborando para optimizar su contenido. Por ello, es que a partir de esta edición se otorgará una retribución anual a los revisores que han realizado un trabajo más presto y exhaustivo en sus evaluaciones. En esta oportunidad, el Comité Editorial ha acordado otorgar el reconocimiento 2016 de revisores destacados al Arquitecto Dr. Olavo Escorcía de la Universidad Nacional de Colombia y a la Arquitecta Ms. Susana Eguía, de la Universidad de Buenos Aires.

Desde el presente número ha asumido como nueva Productora Editorial Jocelyn Vidal R., a quien le damos una cordial bienvenida y deseamos el mejor de los éxitos en este importante desafío. Aprovechamos la ocasión para agradecer el valioso aporte y gestión desarrollada por la anterior Productora: Sra. Theresa St. John, quien ha emprendido otras labores. Al igual que en cada nueva edición, queremos además dar nuestro público reconocimiento al compromiso y profesionalismo del equipo editorial y de producción de HS: a la Dra. Olga Ostría Reinoso, por las labores de corrección de estilo y al Arquitecto Ignacio Sáez Araneda, por las labores de diagramación.

Respecto a la publicación actual, se presentan seis artículos que revisan distintas condiciones arquitectónicas, constructivas y urbanas en diversos contextos iberoamericanos. El estudio del confort en espacios verdes urbanos, el uso de vegetación como control de las islas de calor y la incidencia de la morfología, son aportes concurrentes en la búsqueda de una mejor habitabilidad en climas áridos. La revisión de puentes térmicos en las envolventes y el nivel de eficiencia energética en viviendas en altura, son también analizados en esta ocasión. Finalmente, una investigación sobre la aceptación pública y costos constructivos de la calificación energética de las viviendas en Barcelona, cierra con interesantes conclusiones este número que busca, como lo ha hecho HS desde inicios, aportar con nuevas perspectivas para una arquitectura, construcción y diseño urbano más sustentable.

Dr. Rodrigo García Alvarado - Director General Revista Hábitat Sustentable  
Dra. Claudia Muñoz Sanguinetti - Editora Revista Hábitat Sustentable



# VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA METODOLÓGICA DE ALONSO-FRANK & KUCHEN PARA DETERMINAR EL INDICADOR DE NIVEL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL USUARIO DE UN EDIFICIO RESIDENCIAL EN ALTURA, EN SAN JUAN - ARGENTINA

Artículo  
Recibido 15-03-2017  
Aceptado 24-06-2017

## VALIDATION OF ALONSO-FRANK & KUCHEN'S METODOLOGICAL TOOL TO DETERMINE THE ENERGY EFFICIENCY INDICATOR LEVEL FOR A USER OF A RESIDENTIAL BUILDING AT HEIGHT, SAN JUAN - ARGENTINA.

ALCIÓN DE LAS PLÉYADES ALONSO FRANK  
Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat - Facultad de  
Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD) - Universidad Nacional  
de San Juan (UNSJ), San Juan, Argentina  
alcion88@hotmail.com

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

### RESUMEN

El sector residencial se presenta como el mayor consumidor de energía dentro del sector edilicio. Si bien en los últimos años se han incrementado las normativas/proyectos para establecer estrategias de uso racional y eficiente de la energía, aún se está en proceso. Este trabajo parte de la hipótesis que los usuarios son responsables del consumo energético no previsto durante el uso del edificio. El objetivo es validar una herramienta metodológica que exprese el Nivel de Eficiencia del Usuario (NEU) de un edificio residencial en altura, ubicado en San Juan-Argentina. Para ello, se desarrolla un trabajo de campo mediante encuestas. Se relevan los hábitos que el usuario promedio emplea para satisfacer su condición de confort térmico en período cálido. Los resultados se traducen en una escala gráfica a modo de etiqueta. De la evaluación de los resultados se observa un empleo masivo de estrategias pasivas (no consumen energía) por sobre aquellas de tipo activas, resultando un consumo de 14,6 kWh/m<sup>2</sup>. Persona. En correspondencia, el indicador NEU encontrado es del tipo "bueno", y no tiene correlación con parámetros como edad del individuo, cantidad de personas por departamento o ubicación en altura, por lo que se concluye que es producto del nivel de conciencia sobre el uso racional de la energía (URE).

### Palabras clave

confort térmico, nivel de eficiencia del usuario, etiqueta de eficiencia energética para el usuario.

### ABSTRACT

The residential sector represents the largest consumer of energy in the building sector. Although in recent years there has been an increase in regulations and projects to establish strategies for the rational and efficient use of energy, this process is still underway. This research is based on the hypothesis that users are responsible for the unforeseen energy consumption during building use. The objective is to validate a methodological tool that expresses the User Efficiency Level (Nivel de Eficiencia del Usuario, NEU) of a high-rise residential building located in San Juan, Argentina. To this end, a survey was carried out in the building. The habits that the average users use to satisfy their thermal comfort in summer were revealed. The values were then shown in the graphic form of a label. The evaluation of results demonstrated the massive use of passive strategies that do not consume energy, instead of active strategies, thereby leading to a low energy consumption of 14.6 kWh/m<sup>2</sup> Person. Correspondingly, the User Efficiency Level indicator found was valued as "good" and did not correlate with parameters such as user age, number of inhabitants per home or dwelling floor. Therefore, it is concluded that energy efficiency level depends on user awareness of energy consumption.

### Keywords

thermal comfort, user efficiency level, energy efficiency label for users



## INTRODUCCIÓN

A nivel global, el éxito de las políticas de Eficiencia Energética (EE) tiene como *leitmotiv* el Protocolo de Kioto. La planificación energética se basa en el uso racional de la energía (URE) en todos los sectores, considerando la promoción de tecnologías eficientes, la gestión de políticas inclusivas y de concientización sobre los hábitos de los ciudadanos en el cuidado de la energía (Risuelo, 2010).

América Latina trabaja en la integración de las políticas asociadas al URE con los programas de EE desde la demanda residencial, comercial, industrial y oficial (Briano, Báez y Moya Morales, 2016). Si bien las medidas energéticas sirven de aporte al diseño de la demanda de climatización de edificios, el problema radica en que el proceso de toma de conciencia del ciudadano sigue siendo lento. Además, el único incentivo para el usuario es obtener ahorros económicos en la factura de energía (Ruá y López-Mesa, 2012). La región despliega programas y proyectos que persiguen mejorar la EE del edificio apuntando al bajo impacto del medioambiente y a asegurar la calidad de vida de los usuarios-habitantes. Entre ellos, se destacan los trabajos desarrollados en Brasil (Eletrobras en conjunto con el Ministerio de Minas y Energía), Chile (Instituto de la Construcción, en conjunto con instituciones públicas y privadas, como la AChEE "Agencia Chilena de Eficiencia Energética"), Uruguay (Ministerio de Industria, Energía y Minería) y Argentina (Ministerio de Planificación Pública y Servicios; Ministerio de Energía y Minería, Secretaría de Energía), con la implementación de etiquetados de EE para edificaciones, que consideran desde la localización geográfica, geometría edilicia, condiciones climáticas interiores-exteriores, la tecnología de la envolvente, sistemas para climatización y artefactos que consumen energía en general.

A nivel nacional, se crea en 2007 el "Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía" (PRONUREE), mediante Decreto 140/2007, con el objetivo de instaurar proyectos de EE a corto y largo plazo. Se destaca entonces la necesidad de desarrollar campañas masivas de educación en EE y consumo responsable a toda la población, incorporando fundamentos básicos en la currícula educativa y estableciendo un sistema de etiquetado en EE para equipos que consumen energía. Respecto a viviendas nuevas, se promueve la gestión de un sistema de certificación limitando el consumo máximo de electricidad y calor; y para viviendas en uso, el desarrollo de un sistema de incentivos al ahorro energético basado en premios al consumo "bajo". El sector edilicio cuenta con la norma IRAM 11900 (2009), de etiquetado de EE de calefacción, cuya clasificación se realiza según la transmitancia térmica de la envolvente. La misma es un avance en materia de EE pero debe incorporar la evaluación integral, como por ejemplo, la norma DIN 18599 (2007), precursora de la EnEV (Energie Einsparverordnung). En 2015, se crea la Secretaría de Planeamiento Energético Estratégico y la

Subsecretaría de Ahorro y Eficiencia Energética (Decreto PEN N°231/2015), para dar vigencia y continuidad a la serie de medidas adoptadas en 2007.

Aun cuando las políticas sobre EE y URE significan un avance importante, no alcanzan a resolver la problemática descrita de manera integral, puesto que si bien mayores niveles de eficiencia dependen de estrategias aplicadas al edificio, los usuarios-habitantes, que participan decisivamente a través de sus hábitos afectando el consumo de energía en más de un 30% (Alonso-Frank, Kuchen y Alamino-Naranjo, 2015), no son considerados. Esta vacancia conduce al desarrollo de la herramienta metodológica aquí presentada.

En San Juan-Argentina, el consumo energético del sector residencial a nivel nacional es superior al 44%. Ello motiva la pronta validación y aplicación de la herramienta metodológica desarrollada por Alonso-Frank y Kuchen (2016), considerando los usuarios de 1 (un) edificio referente dentro de un grupo de 14 (catorce) edificios residenciales en análisis, situados en el área metropolitana de mayor densidad edilicia de la ciudad de San Juan-Argentina. Un test (encuesta) a los usuarios, en período cálido, permite recolectar información sobre hábitos y estrategias (activas y pasivas) que emplean en sus viviendas para satisfacer la condición de confort. Se calcula el indicador del Nivel de Eficiencia energética del Usuario-habitante (NEU) en relación al uso de la energía. Los valores se transfieren a una etiqueta y se correlacionan con parámetros como edad del usuario, cantidad de personas/departamento y ubicación en altura en el edificio. Se concluye que la herramienta debe incorporarse en la evaluación integral edilicia, pero de manera articulada con otras las etiquetas de calefacción, refrigeración, iluminación, envolvente, ventanas, entre otras.

## METODOLOGÍA

Para conocer en qué medida el usuario afecta el funcionamiento energético, se lleva a cabo una encuesta corta en diciembre de 2016, en un total de unidades habitacionales del edificio elegido correspondiente al 99% del nivel de confianza. La encuesta, de dos carillas de extensión, permite conocer las características de sus habitantes, permanencia, tiempo y cantidad de uso de artefactos de consumo, confort y hábitos de consumo en general. En detalle, una de las preguntas se refiere a los hábitos/estrategias que el encuestado emplea en su vivienda: "¿Qué medida emplea, y con qué frecuencia, para controlar la temperatura en esta época del año?" (Tabla 1). A efectos de traducir la subjetividad de la respuesta, se otorga valor numérico equivalente, que va de 1 a 5 puntos, en relación a la frecuencia y posibilidad de uso de cada una de las opciones.

Los hábitos/estrategias pueden ser de tipo pasivas (apertura de ventanas/puertas, control de parasol/cortinas

ESTRATEGIA		FRECUENCIA					
		Siempre	A menudo	Rara vez	Nunca	No es posible	
Pasivas	1	Apertura de ventana	o	o	o	o	o
	2	Apertura de puerta	o	o	o	o	o
	3	Apertura de cortinas	o	o	o	o	o
	4	Apertura de parasol/celosía	o	o	o	o	o
	5	Adaptación de la ropa	o	o	o	o	o
	6	Ducha/Refrescamiento	o	o	o	o	o
	7	Tomar agua, mate, etc.	o	o	o	o	o
	8	Otra: _____	o	o	o	o	o
Activas	9	Uso del aire acondicionado	o	o	o	o	o
	10	Uso del ventilador	o	o	o	o	o
	11	Otro: _____	o	o	o	o	o

Tabla 1. Pregunta sobre hábitos/estrategias por el usuario en su vivienda. Fuente: Elaboración de los autores

FRECUENCIA	ESTRATEGIA TIPO							
	Pasiva (no consume energía)				Activa (consume energía)			
	Significado	Intervalo puntuación	Equivalente numérico	Calif.	Significado	Intervalo puntuación	Equivalente numérico	Calif.
Siempre	Muy eficiente	≥ 4,5 a 5	5	A	Muy poco eficiente	<1,5	1	E
A menudo	Eficiente	≥ 3,5 a <4,5	4	B	Poco eficiente	≥ 1,5 a <2,5	2	D
Rara vez	Término medio	≥ 2,5 a <3,5	3	C	Término medio	≥ 2,5 a <3,5	3	C
Nunca	Poco eficiente	≥ 1,5 a <2,5	2	D	Eficiente	≥ 3,5 a <4,5	4	B
No es posible	Muy poco eficiente	<1,5	1	E	Muy eficiente	≥ 4,5 a 5	5	A

Tabla 2. Escala de 5 puntos con calificación, rangos y equivalentes numéricos de evaluación de la frecuencia y disponibilidad de la estrategia de tipo pasiva y activa. Fuente: Elaboración de Alonso-Frank y Kuchen (2016).

y adaptación de la ropa, refrescamiento personal u otros) y de tipo activas (uso de *split*/aire acondicionado, ventilador u otro).

La Tabla 1 refleja la gran cantidad de acciones pasivas que puede realizar el usuario promedio (estrategias "1" a "8"). Todas ellas presentan la ventaja de no requerir un gasto energético y, por ende, propician el ahorro económico. Se considera que aquel usuario que emplea más estrategias pasivas, está más adaptado al clima local, siendo más eficiente. En oposición, el empleo de las estrategias activas implica un determinado consumo energético y, en consecuencia, la no adaptación al ambiente exterior (ver estrategias "9" a "11" en Tabla 1).

Esta diferenciación da pauta de la necesidad de valorar la estrategia pasiva de modo inversamente proporcional a la activa. La Tabla 2 muestra el equivalente numérico de 1 a 5, correspondiente a cada tipo de estrategia en función de la frecuencia de uso y los intervalos o rangos de puntuación para cada caso. El empleo frecuente de las estrategias pasivas ("Siempre") es correlativo con un no

empleo de las estrategias activas ("No es posible"), siendo esta la situación de eficiencia energética más favorable para el edificio. Los equivalentes numéricos permiten cuantificar cada acción. De manera similar a los sistemas de etiquetado existentes en el mercado, cada rango de equivalente numérico se corresponde con una letra, que va de la "A" (muy eficiente) a la "E" (muy poco eficiente).

Los equivalentes numéricos de la Tabla 2 se ponderan según la abstracción matemática de la Ecuación 1 (ver Alonso-Frank, Kuchen y Alamino-Naranjo, 2015), dando lugar a la obtención del indicador del Nivel de Eficiencia de Usuario NEU.

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

Ecuación 1

Donde:

NEU= Nivel de Eficiencia del Usuario  
 5, 4, 3, 2, 1= Equivalentes numéricos de la frecuencia de uso de una estrategia (Tabla 2)



Figura 1. San Juan, Argentina. Fuente: Elaboración de los autores.

Figura 2. Caso de estudio. Fachada principal Este. Fuente: Elaboración de los autores.

Figura 3. Caso de estudio. Fachada lateral Norte. Fuente: Construcciones Scop S.A.

vA= suma del total de votos de frecuencia "Siempre" de estrategias pasivas y total de votos de frecuencia "No es posible" de estrategias activas (Tabla 2)

vB= suma del total de votos de frecuencia "A menudo" de estrategias pasivas y total de votos de frecuencia "Nunca" de estrategias activas (Tabla 2)

vC= suma del total de votos de frecuencia "Rara vez" de estrategias pasivas y activas (Tabla 2)

vD= suma del total de votos de frecuencia "Nunca" de estrategias pasivas y total de votos de frecuencia "A menudo" de estrategias activas (Tabla 2)

vE= suma del total de votos de frecuencia "No es posible" de estrategias pasivas y total de votos de frecuencia "Siempre" de estrategias activas (Tabla 2)

vt= Total de votos emitidos

La información del NEU encontrado se contrasta con valores de consumo (EPRE, 2015) y parámetros referidos al usuario y ubicación de las unidades dentro del edificio.

## CASO DE ESTUDIO

En este trabajo, se toma un edificio emplazado en la Ciudad de San Juan-Argentina (Figura 1), con clima desértico, concentración estival de precipitaciones (según clasificación de Köeppen), a 630 msnm, Lat. 31,6° S y Long. 68,5° O. La región se encuentra en zona bioambiental IIIA, con clima cálido templado seco, según norma IRAM 11603 (Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 1996), con temperatura media anual de 17,2°C, humedad relativa media anual del 53%, radiación solar elevada, amplitudes térmicas diarias y estacionales y vientos predominantes del sud-este.

El sector residencial de análisis se ve afectado por la masa construida de la banda eminentemente urbana (EU) de la ciudad de San Juan, lugar donde se manifiesta la mayor acumulación de calor (isla de calor), propiciando el discomfort higrotérmico de la población. Las construcciones en análisis presentan diversidad, adaptabilidad y flexibilidad de usos y una alta dependencia del clima cálido templado seco. Esto último conduce a un uso generalizado de sistemas de aire acondicionado en verano que, a su vez, incrementa el calor antropogénico de la isla de calor urbana (Kurbán, 2012). Aunque todo ello depende de los usos y costumbres, grado de adaptación al clima, acceso a la tecnología y conciencia energética, entre otros factores.

La planificación y actualización de nuevas construcciones requiere de medición y verificación de nuevos referentes energéticos (ver también Juodis, Jaraminiene y Dudkiewicz, 2009). En este caso, el edificio construido en 1996 (ver Figuras 2 y 3), se sustenta en volúmenes puros, con eje longitudinal predominante Este-Oeste, es decir, fachada de menor exposición con orientación Este. Ello posibilita que el 80% de las unidades habitacionales posean buen nivel de aprovechamiento del asoleamiento y brisas del sector sur y sureste. En total posee 64 unidades distribuidas en planta baja y 10 niveles superiores.

El edificio ostenta muros de  $e=0,20$  m, compuestos por pintura-revoque externo-ladrillón-revoque interno-pintura, sin aislación térmica. El coeficiente de transmitancia térmica (K) es de  $2,23 \text{ W/m}^2\text{°C}$ . Los muros internos son de similares características y alcanzan un  $K=1,86 \text{ W/m}^2\text{°C}$ . El cerramiento superior es de losa de hormigón armado-aislación-cielorraso-pintura con un  $K=1,29 \text{ W/m}^2\text{°C}$ . Las aberturas poseen vidrio simples de  $e=4\text{mm}$  y  $K=5,88 \text{ W/m}^2\text{°C}$  y un porcentaje de vidrio del 47%. En cuanto

a elementos de protección solar, cuenta con balcones techados de 1,20 m de profundidad sobre orientación Norte. Sobre esta, el 20% de los usuarios incorporan toldos o parasoles con el fin de controlar la incidencia solar. Las ventanas emplazadas al Este poseen cortinas de enrollar.

## IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

El edificio analizado cuenta con el 80% de las unidades habitacionales (50/64) ocupadas al momento de la medición. De la totalidad de departamentos habitados, la base de datos para el análisis se construye con un nivel del 99% de confianza, producto de relevar 40 unidades del total de departamentos habitados.

La Figura 4 muestra la distribución porcentual de hábitos/estrategias de adaptación de los usuarios al ambiente térmico. Se observa que el empleo de apertura de ventanas, adaptación de la ropa, apertura de cortinas, toma de ducha, apertura de puertas e ingesta de líquido (agua), superan el 80%. En oposición, el empleo de uso de aire acondicionado y ventilador alcanzan el 17%.

En base a los datos de frecuencia de las estrategias empleadas, se calcula el NEU según la Ecuación 1 para cada unidad habitacional, lo que da como resultante un  $NEU=3,44\pm 0,47$ , que refleja un nivel de eficiencia "medio-bueno". El valor de NEU se traduce sobre la escala grafica descrita en la Tabla 2. Esta escala se muestra a modo de etiqueta en la Figura 5, y va del rojo (bajo nivel de eficiencia) al verde (alto nivel de eficiencia). La flecha indica la calificación NEU obtenida para el usuario promedio. La ponderación del total de NEU de un edificio permite obtener el NEU resultante, dando una idea del nivel de conciencia energética por parte del usuario de dicho edificio.

La Figura 6 exhibe la modelización del indicador NEU traducido a su resultante en color, alcanzado en cada unidad habitacional. En gris, se muestran aquellas que no se relevaron. Se observa que, a excepción de un departamento con valoración "D", las calificaciones oscilan entre "B" y "C", según Tabla 2. De la modelización se aprecia una distribución heterogénea del NEU a lo largo, ancho y alto del edificio analizado, que no es dependiente de orientación o estratificación por pisos. La modelización del edificio se corresponde con el valor  $NEU=3,44\pm 0,47$  resultante, indicando que el nivel de conciencia del usuario es del tipo "medio", en relación al uso de la energía (ver Figura 7).

En la Figura 8 se expone el resultado de los indicadores NEU propios de cada unidad, en función a las edades de cada usuario encuestado. Este ilustra una dispersión con muy baja correlación, que permite estimar que el nivel de eficiencia del usuario no depende del rango etario estudiado. La Figura 9 muestra la independencia del NEU en relación a la cantidad de usuarios dentro de la unidad habitacional.

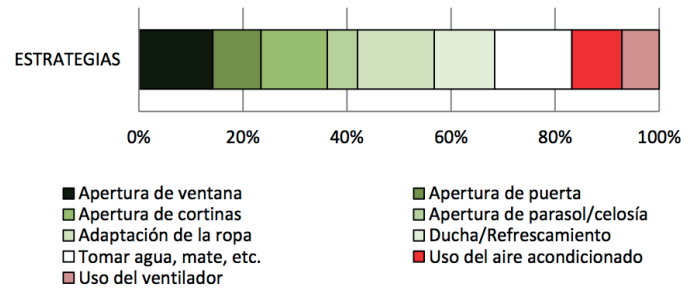


Figura 4. Hábitos de uso de estrategias de adaptación por parte de usuarios del edificio residencial. Fuente: Elaboración de los autores.

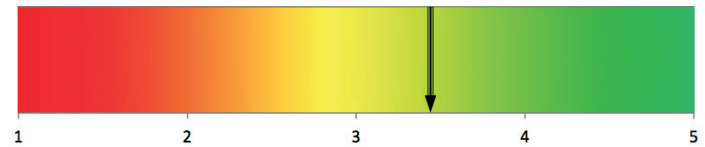
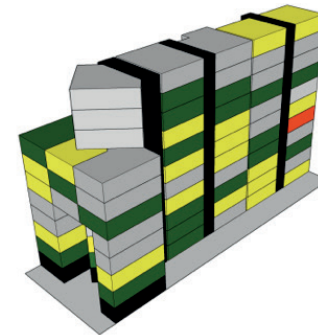


Figura 5. NEU – Caso de estudio. Fuente: Elaboración de Alonso-Frank, Kuchen y Alamino-Naranjo (2015).



Referencias:  
Calificación

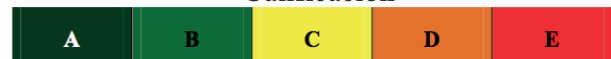
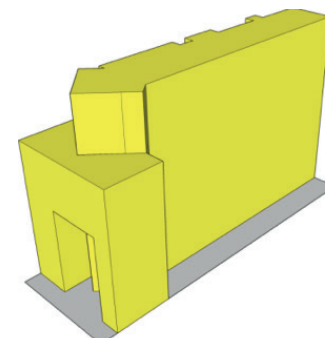


Figura 6. Modelización del NEU de cada unidad habitacional. Fuente: Elaboración de los autores.



Referencias:  
Calificación

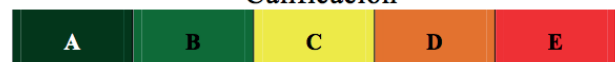


Figura 7. Modelización del NEU edilicio resultante. Fuente: Elaboración de los autores.



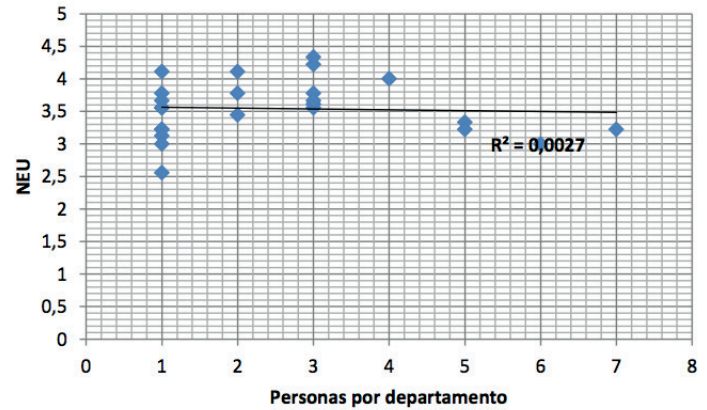
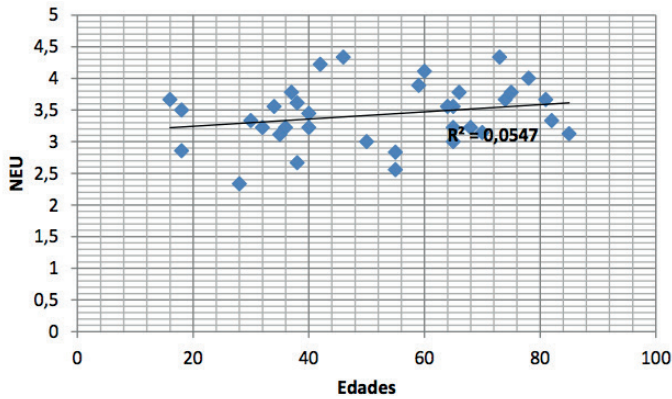


Figura 8. Correlación NEU – edades usuarios (años). Fuente: Elaboración de los autores.

Figura 9. Correlación NEU – Cantidad de personas por departamento. Fuente: Elaboración de los autores.

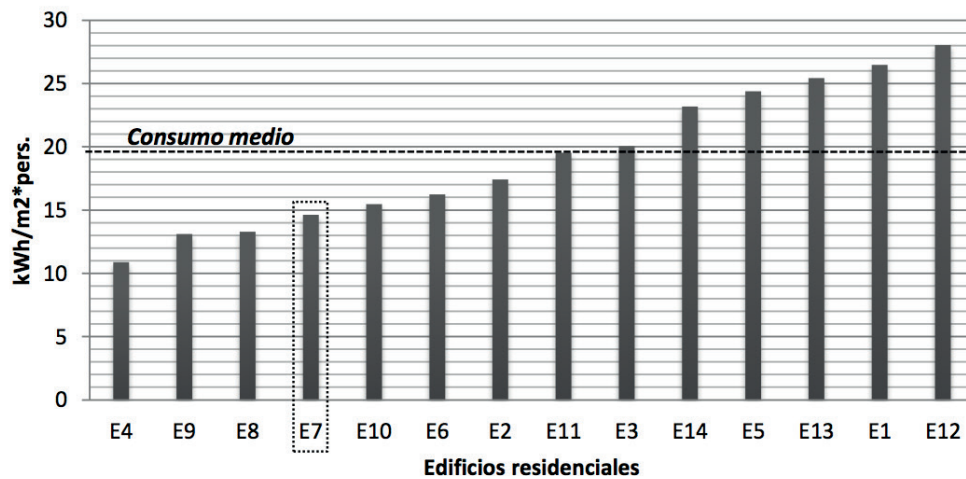


Figura 10. Consumo por superficie por persona de 14 edificios residenciales – San Juan, Argentina. Fuente: Elaboración de los autores.

La Figura 10 muestra la posición del edificio analizado “E7” en relación a los 14 que se encuentran en análisis. El consumo de energía eléctrica anual del edificio es de 141.977 kWh.a (EPRE, 2015). El indicador de eficiencia energética del edificio considera la relación entre superficie por departamento, cantidad de personas que en el mismo habitan y el consumo anual. La línea promedio de los edificios locales asciende a 19,5 kWh.a/m<sup>2</sup>\*persona. El “E7” alcanza 14,6 kWh.a/m<sup>2</sup>\*persona, ubicándose en cuarto lugar, por debajo de la media según valores de referencia local de edificios residenciales en altura.

## CONCLUSIONES

En un contexto de valoración del uso racional de los recursos energéticos, la presente investigación posee un valor fundamental por destacar valores de referencia medidos en kWh.a/m<sup>2</sup>\*persona y por identificar posibles aportes a las estrategias para el URE. La introducción de esta herramienta metodológica comunicacional (indicador-NEU) debe ser considerada al propulsar un cambio de conciencia social ambiental.

Partiendo del importante lugar que ocupa el consumo energético residencial a nivel nacional y provincial, se aplica y valida el indicar de Nivel de Eficiencia del Usuario (NEU) en un caso de estudio representativo de la Ciudad de San Juan. Traducir su valor resultante en una etiqueta permite al usuario la rápida comprensión de su nivel



de eficiencia, conduciendo a un aporte en la toma de conciencia ambiental.

Los resultados develan un NEU=3,44±0,47 en un edificio con un consumo medio bajo de 14,6 kWh.a/m<sup>2</sup>\*persona. El NEU obtenido no tiene correlación con parámetros como ubicación en planta o altura (nivel) del departamento dentro del edificio, tampoco con la cantidad de habitantes y edades, lo cual da pauta para que el NEU sea independiente de dichas variables, aunque sí es representativo del nivel de conciencia del usuario respecto del uso de la energía. Con ese objeto, la segunda etapa del presente estudio contempla la introducción de un "Manual de EE para usuarios de edificios residenciales" a efectos de constatar los beneficios ambientales y económicos resultantes del uso de esta herramienta, cuyos resultados obtenidos se expondrán en próximas publicaciones.

En una tercera fase, se persigue presentar la herramienta ante el Ente Regulador de la Electricidad (EPRE). Ello posibilitará establecer demandas de energía objetivo para edificios residenciales, de manera tal que su regulación e implementación permita, en una primera instancia, que el usuario llegue a obtener una medida concreta del impacto de su consumo energético.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AChEE – Agencia Chilena de Eficiencia Energética [en línea]. [Consultado 17 enero 2017]. Disponible en: <http://www.acee.cl/>

ALONSO-FRANK, Alción; KUCHEN, Ernesto y ALAMINO-NARANJO, Yésica. Developing an energy efficiency assessment tool for buildings according to user behaviour indoors. The 31<sup>o</sup> International PLEA Conference Passive Low Energy Architecture: Architecture in (R)Evolution. Bologna, Italia, 2015.

ALONSO-FRANK, Alción y KUCHEN, Ernesto. Desarrollo de una herramienta para validar la influencia del comportamiento del usuario sobre la eficiencia energética en edificios públicos de oficinas. Revista Hábitat Sustentable, 2016, vol. 6, n° 2, pp. 62-69.

BRIANO, José Ignacio; BÁEZ, María Jesús; MOYA MORALES, Rocío. Eficiencia energética en Argentina: Identificación de oportunidades. Dirección de Análisis y Estrategia de Energía (DAEE). Editor CAF, 2016.

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

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) DIN 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung. Berlin: Beuth, 2007-02.

ELETRÓBRÁS/PROCEL. Manual para aplicação do RTQ-C [en línea]. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações-CB3e-UFSC. Versão 4. Abril de 2017. [Consultado 17 enero 2017]. Disponible en: <https://www.eletrabras.com/>

EPRE - ENTE PROVINCIAL REGULADOR ELÉCTRICO. Consumo energético anual [en línea], 2015. [Consultado 20 febrero 2016]. Disponible en: <http://www.epresj.gov.ar>.

JUODIS, Egidijus; JARAMINIENE, Egle y DUDKIEWICZ, Edyta. Inherent variability of heat consumption in residential buildings. Energy and Buildings, 2009, vol. 41, pp. 1188-1194.

KURBÁN, Alejandra. DIMENSIÓN: URBANO-AMBIENTAL. Ambiente Socialmente Construido. Plan de Ordenamiento Territorial para el Área Metropolitana de San Juan PLAM-SJ. Programa de fortalecimiento institucional de la subsecretaría de planificación territorial de la inversión pública. Segundo informe – Mayo 2012.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA. Presidencia de la Nación Argentina. Secretaría de energía y minería. Secretaría de planeamiento estratégico. <https://www.minem.gov.ar/>

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y MINERÍA - República Oriental del Uruguay [en línea]. [Consultado 20 febrero 2017]. Disponible en: <http://www.dne.gub.uy/programas-y-proyectos/eficiencia-energetica>

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS [en línea]. [Consultado 20 febrero 2017]. Disponible en: <http://cdi.mecon.gov.ar/biblioteca/programas-y-planes-2/ministerio-de-planificacion-federal-inversion-publica-y-servicios/>

NORMA IRAM 11603 - Instituto Argentino de Normalización y Certificación: Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Buenos Aires. Argentina, 1996.

NORMA IRAM 11900 - Instituto Argentino de Normalización y Certificación: Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios. Clasificación según la transmitancia térmica de la envolvente, 2009.

RISUELO, Fernando. Certificados de eficiencia energética en edificios. 1era ed. Buenos Aires: FODECO. Resumen Ejecutivo - Área pensamiento estratégico, 2010

RUÁ, M. J. y LÓPEZ-MESA, B. Certificación energética de edificios en España y sus implicaciones económicas. Informes de la Construcción, 2012, vol. 64, n° 527, pp. 307-318.

SECRETARÍA DE ENERGÍA DE LA NACIÓN (SEN) [en línea]. [Consultado 17 enero 2017]. Disponible en <http://www.energia.gov.ar>

## AGRADECIMIENTOS

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



# LA VEGETACIÓN COMO SISTEMA DE CONTROL PARA LAS ISLAS DE CALOR URBANO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.

Artículo  
Recibido 13-03-2017  
Aceptado 24-06-2017

## THE VEGETATION AS A CONTROL SYSTEM FOR THE URBAN HEAT ISLANDS IN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.

MARIA GORETTI SALAS ESPARZA  
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez- Instituto de  
Arquitectura, Diseño y Arte, Juárez, México  
goretti.salas88@gmail.com

LUIS CARLOS HERRERA SOSA  
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez- Instituto de  
Arquitectura, Diseño y Arte, Juárez, México  
carlos.herrera@uacj.mx

### RESUMEN

A nivel mundial, el territorio ha experimentado un proceso de urbanización, el cual ha modificado las condiciones físicas y climatológicas como consecuencia de la densificación y construcción de las zonas urbanas, sobre todo a partir de la utilización de materiales que retienen el calor y que propician el fenómeno de isla de calor urbano (ICU), término establecido por Gordon Manley en 1958 (Fernández, 1996). Este trabajo evalúa el impacto que tienen las áreas verdes para actuar como sistema de control de isla de calor sobre Ciudad Juárez, Chihuahua, durante el verano del 2016. La metodología consistió en analizar cuatro áreas verdes para determinar la diferencia de temperatura que existe entre las zonas arboladas y las no arboladas, registrando temperaturas con sensores Hobo®, cada 15 minutos. Los resultados obtenidos demostraron que existe una diferencia de temperatura de 3,82 °C entre los lugares arbolados y no arbolados en el área verde con mayor nivel de vegetación, mientras que el área verde con menor nivel de vegetación se encontró una diferencia de 0,53 °C. Sin embargo, el impacto que tendrán sobre la zona urbana dependerá de la configuración y características de la misma área verde.

### Palabras clave

áreas verdes, islas de calor urbano, microclima urbano.

### ABSTRACT

Globally the territory has undergone a process of urbanization, which has modified the physical and climatological conditions as a consequence of the densification and construction of the urban areas, above all with the use of materials that retain the heat and that favor the phenomenon of Urban heat island (ICU), a term established by Gordon Manley in 1958 (Fernandez, 1996). This work evaluates the impact of green areas to act as a heat island control system over Ciudad Juárez, Chihuahua, during the summer of 2016. The methodology consisted of analyzing four green areas to determine the temperature difference between Wooded areas and non-wooded areas, recording temperatures with Hobo® sensors every 15 minutes. The results obtained showed that there is a temperature difference of 3.82 °C between the wooded and non-wooded areas in the green area with the highest vegetation level, while the green area with the lowest vegetation level found a difference of 0, 53 °C. However, the impact they will have on the urban area will be based on the configuration and characteristics of the same green area.

### Keywords

green areas, urban heat island, urban microclimate.

## INTRODUCCIÓN

Ciudad Juárez se localiza a los 31°44' de latitud norte, 106°29' de longitud oeste, al norte del Estado de Chihuahua en México, frontera con la ciudad de El Paso, Texas, en Estados Unidos. Se ve delimitada por el Río Bravo al norte, una sierra montañosa al poniente y una extensión desértica de arenales hacia el sur. La mancha urbana de la ciudad ocupa hasta el año 2016, 32.119,57 hectáreas, con una población de 1.391.180 habitantes y una densidad de ocupación de 41,82 hab/ha, además de presentar un proceso de crecimiento urbano donde existen baldíos y zonas residenciales desconectadas del centro de la ciudad, lo que habla de un crecimiento disperso y desorganizado (Instituto Municipal de Investigación y Planeación, 2016).

La ciudad se caracteriza por ser una zona semidesértica con un clima seco árido extremo, con veranos muy calurosos, con temperatura máxima de hasta 46°C y con una temperatura mínima en la temporada invernal de -27°C (CONAGUA, 2016). El promedio anual de humedad relativa es de 46 %, sin embargo, los niveles más bajos de humedad se dan en mayo y junio con 29%, mientras que en los meses de enero alcanzan el 80%.

En cuanto a la disponibilidad de agua, la ciudad cuenta con dos embalses subterráneos, el Bolsón del Hueco y el bolsón de Mesilla, de los cuales se extraen aproximadamente 156 millones de metros cúbicos por año (JMAS, 2016).

La cantidad de áreas verdes en la ciudad es de 1,783, las cuales ocupan una superficie de 7.478.012,67m<sup>2</sup>, teniendo así un indicador de 5.66 m<sup>2</sup> por habitante (IMIP, 2016). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), esta densidad es baja considerando que el estándar que propone es de 9m<sup>2</sup> por habitante para mantener la calidad de vida de la población (Reyes y Figueroa, 2010). Sin embargo, del total de áreas verdes, solo el 32.1% se encuentra atendida por las autoridades, mientras que el resto no lo está, lo que implica que se halla en mal estado de mantenimiento, riego, poda e infraestructura.

En la ciudad ya existe la presencia de islas de calor urbano (ICU): Sandoval (2014) logró identificar el cambio de la temperatura superficial del suelo con la utilización de sistemas de percepción remota e identificó el aumento de temperatura promedio de 11°C entre los años 2000 y 2010, así como también pudo determinar que el aumento de las temperaturas se dio en aquellas áreas donde se sustituyeron las áreas vegetales por superficies construidas.

En las últimas tres décadas se han desarrollado estudios sobre el reconocimiento de las islas de calor urbano, sus impactos y efectos sobre el ambiente, clima y la salud humana, pero también sobre las medidas que se pueden utilizar para revertir sus efectos, así como el desarrollo de políticas y programas que resuelvan dicha problemática. Algunos de los avances que se han logrado en el campo de la investigación han sido el desarrollo de los materiales



Figura 1. Ubicación de las áreas verdes elegidas para el monitoreo en el verano de Ciudad Juárez, Chihuahua. Fuente: Elaboración de los autores.

altamente reflectivos, techos fríos y verdes, pavimentos fríos y áreas verdes urbanas (Akbari *et al.*, 2016).

Varias de las aportaciones más importantes sobre este problema han conducido a que la mejor alternativa para reducir el efecto de las islas de calor urbano son las áreas verdes, ya que "son la medida más ecológica para combatir estos problemas" (Wong y Yu, 2005), pues, según Ángel (2010), la morfología e intensidad de las ICU están determinadas por la distribución y composición de las áreas verdes. Esto es porque la vegetación actúa como un factor modificador del clima local, alterando el balance energético y provocando variaciones en la radiación solar, la velocidad del viento, la temperatura del ambiente y en la humedad del aire; contribuyendo de esta manera a mejorar el confort en los espacios exteriores urbanos (Ochoa de la Torre, 1999). Sin embargo, la contribución de las áreas verdes para mitigar los efectos de la ICU dependerá del tamaño y la estructura del parque, las condiciones del clima local, el tipo de plantas utilizadas, la frecuencia de riego y el balance térmico de la zona adyacente al mismo.

Por los citados argumentos, el propósito de este estudio es evaluar el impacto que puede generar la vegetación en las zonas urbanas para controlar las islas de calor urbano





Figura 2. Parque Hermanos Escobar, Ciudad Juárez, Chihuahua. Fuente: Fotografías de los autores.

durante el verano del 2016 en Ciudad Juárez, Chihuahua. La evaluación se realizó por medio de un monitoreo *in situ* de cuatro áreas verdes con distintos niveles de vegetación y diseños, utilizando sensores de temperatura y humedad relativa HOB0® U-12 para interiores de la compañía Onset Corporation, los cuales se adecuaron para su uso en espacios exteriores.

## METODOLOGÍA

Para la selección de las áreas verdes que deben ser monitoreadas en función del cumplimiento de los objetivos de este trabajo, se adoptaron los siguientes criterios: a. que las áreas verdes pertenezcan a parques vecinales de un entorno habitacional altamente urbanizado, con alto tráfico vehicular y peatonal; b. que estén establecidas en zonas con elevadas temperaturas de suelo (Sandoval, 2014); y c. que posean un área aproximada de 0,80 ha y un mínimo de 50 metros ya que, según Kurbán y Cúnsulo (2015), estas son las medidas mínimas sugeridas para que puedan modificarse las condiciones higrotérmicas del entorno urbano.

Considerando los criterios anteriores, se eligió: el Parque Hermanos Escobar, el Parque Segunda Burócrata, el Parque Rincón del Valle y el Parque Hidalgo (ver Figura 1), todos en orden descendente, en cuanto a sus niveles de vegetación. Estos parques fueron analizados en torno a las siguientes características: el tipo de vegetación existente, los materiales de la infraestructura y mobiliario, las actividades que se realizan en sus espacios, la densidad

de ocupación de la zona, las características de las avenidas y la estructura urbana circundante.

La recolección de los datos se llevó a cabo por la medición de la temperatura con los sensores HOB0, instalados entre el 02 y el 06 de septiembre de 2016, en los parques Hermanos Escobar y Segunda Burócrata, y entre el 09 y el 11 de septiembre de 2016, en los parques Rincón del Valle y Parque Hidalgo. Fueron dos días de medición, por cuestiones de seguridad, y en los cuatro casos la medición se efectuó durante día y noche. Posteriormente, se eligieron tres lugares de medición dentro de cada área verde; en sombra, semisombra y sol, a una altura de 2 metros para que fuera posible registrar la temperatura ambiente que es percibida por el ser humano (Puliafito, Bochaca y Allende, 2013).

## ANÁLISIS DE LAS ÁREAS VERDES Y RESULTADOS

El Parque Hermanos Escobar cuenta con el mayor nivel de vegetación, con una superficie de 7.809 m<sup>2</sup>. Este parque se ubica en la Colonia Hidalgo, cuya densidad de ocupación es de 61.97 hab/ha, en un entorno habitacional donde las manzanas suelen ser de 7.000 m<sup>2</sup> aproximadamente, con calles de entre 8 y 10 metros de ancho (ver Figura 2).

Las instalaciones de este parque se encuentran en buen estado: los materiales de construcción más comunes son el adoquín y concreto para los caminos, la piedra para



el monumento y material metálico para el mobiliario. En cuanto a las especies vegetales, el parque cuenta con 1.127 árboles, los cuales tienen una cobertura 6,9 m<sup>2</sup> por cada árbol, en su mayoría olmos, moros, fresnos, lilas, y pinos como el álamo plateado, ciprés italiano y piramidal.

Como se mencionó previamente, se seleccionaron tres lugares para instalar los sensores de acuerdo a los niveles de protección solar: en sombra, se evaluó el camino de concreto que se encuentra en completa sombra por olmos de gran tamaño, arbustos rosa laurel y pasto de tipo bermuda; en semisombra, se evaluó otro camino de concreto con un nivel de sombreado parecido al lugar en sombra, ya que los niveles de vegetación en el parque son muy equitativos; finalmente, en sol, se evaluó el camino de concreto y adoquín que se encuentra a completa exposición del sol durante todo el día (ver Figura 3).

Los resultados del monitoreo mostraron que el lugar en sombra registró una temperatura máxima de 35,58°C, a las 4:15 horas de la tarde, y una temperatura mínima de 22,08°C, a las 6:45 horas de la mañana. Mientras que la humedad relativa registró el porcentaje más alto durante la noche, con 75,25%, y un mínimo de 33,94%, durante las horas pico de calor.

En el lugar de semisombra se evidenció una temperatura máxima de 34,81°C a las 3:30 horas de la tarde y una mínima de 21,81 °C a las 6:15 horas de la mañana, con una humedad relativa máxima de 77,32% y una mínima de 35.50%. Debe considerarse aquí la orientación del parque, que permite que el sombreado después de las 4:00 de la tarde en este lugar específico sea mayor.

Por último, el sector ubicado al sol registró una temperatura máxima de 39,40°C a las 4:00 horas de la tarde y una mínima de 21,46°C a las 6:00 de la mañana, mientras que la humedad relativa máxima fue de 79,38 % y una mínima de 25,09 % (ver Figura 4).

El promedio de temperatura que se registró durante este periodo comprueba que aquellos lugares en sombra con condiciones de vegetación y buena distribución contribuyen a disminuir la temperatura, que en este caso es por 1°C, mientras que las condiciones de humedad relativa son favorables cuando existe vegetación, teniendo una diferencia promedio de 3,38%, en este mismo caso. Sin embargo, existe una diferencia de temperatura de 3,82°C y 4,13% de humedad relativa entre las zonas con vegetación y las que se encuentran expuestas al sol en las horas pico de calor (ver tabla 1).

El Parque Segunda Burócrata tiene un área de 7.972 m<sup>2</sup> y está ubicado en la Colonia Segunda Burócrata, cerca de la Acequia Madre, que servía como un cauce del río Bravo para los cultivos agrícolas que existían. La zona tiene una densidad de ocupación de 35.94 hab/ha, en



Figura 3. Puntos de medición en el Parque Hermanos Escobar. Fuente: Elaboración de los autores.

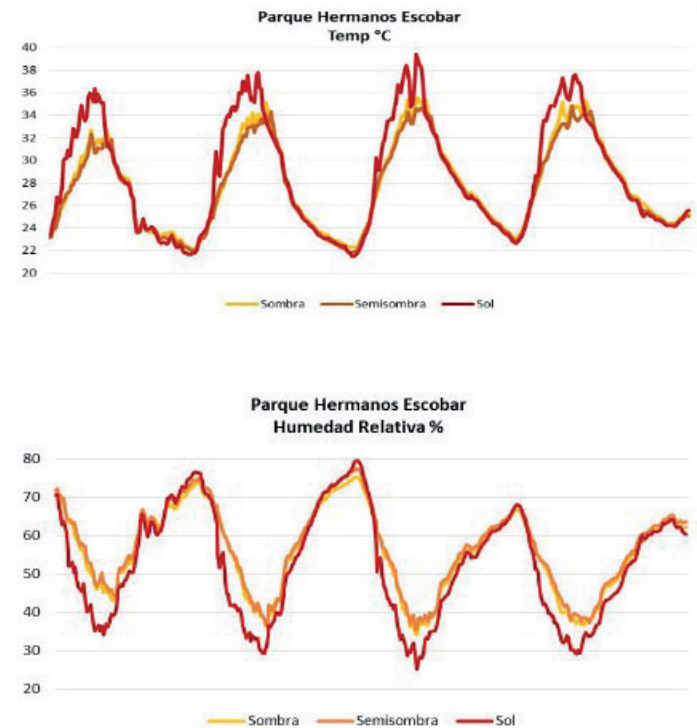


Figura 4. Gráficas de resultados del monitoreo en el Parque Hermanos Escobar. Fuente: Elaboración de los autores.

un contexto habitacional residencial de nivel medio y medio alto donde las manzanas tienen una superficie de 7.000 m<sup>2</sup> aproximadamente y un ancho de calles entre 8 y 14 metros (ver Figura 5).

Este parque se encuentra en buen estado y los niveles de vegetación son un poco más diferenciados por las distintas actividades que se dan, los materiales

Lugar	Temp °C Máxima	Temp °C Mínima	Temp °C Promedio	HR% Máxima	HR% Mínima	HR% Promedio
Sombra	35,58	22,08	27,84	75,25	33,95	55,69
Semisombra	34,81	21,81	27,56	77,32	35,50	56,74
Sol	39,40	21,46	28,56	79,38	25,09	52,31

Tabla 1. Registros de temperatura y humedad relativa del Parque Hermanos Escobar. Fuente: Elaboración de los autores.



Figura 5. Parque Segunda Burócrata, Ciudad Juárez, Chihuahua. Fuente: Fotografías de los autores.

más utilizados son el concreto para la cancha de basquetbol, los caminos y las banquetas, mientras que para el mobiliario se utiliza la madera y material metálico. Cuenta, además, con 1.127 árboles, los cuales tienen una cobertura de 7m<sup>2</sup> por árbol, sin embargo y a diferencia del parque anterior donde se da una distribución equitativa, el diseño de éste agrupa los árboles en determinados lugares. Las especies vegetales más representativas son los pinos afganos y alepos y también los árboles de gran tamaño, como el álamo lombardi, eucalipto, fresno, moro macho, olmo y trueno.

De acuerdo a los niveles de sombra que produce la vegetación, se eligieron los tres lugares de medición: en sombra, se evaluó el piso recubierto por bermuda y dedo, alrededor de árboles de tipo olmo y algunos pinos alepos, los cuales conforman una sombra sólida; en semisombra, se evaluó el suelo recubierto por bermuda, así como la cercanía de la cancha, rodeado de árboles como el moro y el eucalipto, que producen una sombra media. Por último, en sol se evaluó el suelo cubierto de bermuda en completa exposición al sol durante todo el día (ver Figura 6).

Los resultados del monitoreo mostraron que el lugar en sombra alcanzó una temperatura máxima de 35,39°C a las 3:30 de la tarde, mientras que la temperatura mínima alcanzada fue de 21,24 °C a las 7:00 de la mañana. El porcentaje de humedad relativa máximo fue de 77,14%, en tanto que el mínimo fue de 32,91%. El sector en semisombra alcanzó una temperatura máxima de 36,09°C a las 5:30 de la tarde y una mínima de 21,91°C. En cuanto a la humedad relativa, la máxima fue de 81,50 % y de 31,50 % la mínima.



Figura 6. Puntos de medición en el Parque Segunda Burócrata. Fuente: Elaboración de los autores.

Finalmente, en la zona soleada la temperatura máxima y mínima fue de 37,75°C a las 3:30 de la tarde y 20,12°C a las 6:00 de la mañana, respectivamente. Y la humedad relativa fue de 85,55%, la máxima, y de 29,14 %, la mínima (ver Figura 7).

Este parque mostró un aumento de la temperatura promedio de 0,36°C entre las zonas vegetadas y las expuestas al sol, mientras que la humedad relativa promedio aumentó en 0,10 %. Por otra parte, las mediciones mostraron una diferencia de temperatura máxima de 2,17°C entre el lugar en sombra y el sol, y una diferencia de 8,41 % de humedad relativa durante las horas pico de calor (ver Tabla 2).



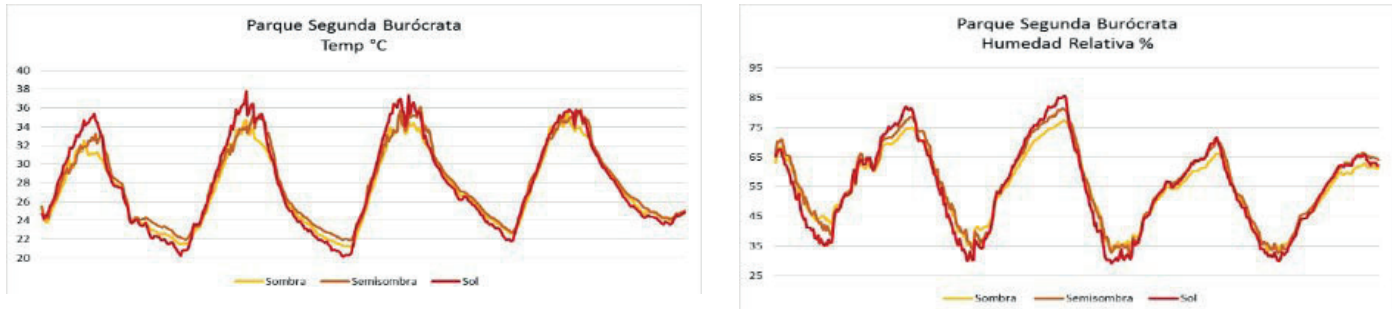


Figura 7. Gráficas de resultados del monitoreo en el Parque Segunda Burócrata. Fuente: Elaboración de los autores.

Lugar	Temp °C Máxima	Temp °C Mínima	Temp °C Promedio	HR% Máxima	HR% Mínima	HR% Promedio
Sombra	35,39	21,24	27,46	77,14	32,91	54,42
Semisombra	36,08	21,91	27,99	81,50	31,50	55,78
Sol	37,75	20,12	27,83	85,55	29,14	54,37

Tabla 2. Registro de temperatura y humedad relativa del Parque Segunda Burócrata. Fuente: Elaboración de los autores.

El Parque Rincón del Valle tiene un área de 8,342 m<sup>2</sup> y se ubica en el Fraccionamiento Rincón del Valle, cerca de una de las vialidades principales de la ciudad. La zona tiene una densidad de ocupación de 138.95 hab/ha, esto porque el fraccionamiento es de viviendas adosadas con medidas mínimas. Las manzanas suelen ser de 5,500 a 7,500 m<sup>2</sup>, mientras que el ancho de las calles interiores del fraccionamiento es de 8 metros, sin embargo, la vialidad principal tiene un ancho de 34 metros (ver Figura 8).

El parque se encontraba en remodelación durante el trabajo de campo, por lo que se agregó una cancha multiusos y un área de juegos, las cuales se instalaron en planchas de concreto, mientras que el mobiliario instalado fue de madera y metal.

En cuanto a la vegetación existente, cuenta con 150 árboles en total, teniendo una cobertura de 55,61m<sup>2</sup> por árbol. Las especies más representativas son: álamo plateado, eucalipto, fresno, lila, moro macho, olmo y trueno, pero también existen pinos como el afgano, alepo, elevador y el ciprés italiano.

De acuerdo a los niveles de protección solar se eligieron los siguientes sitios para ubicar los sensores: en sombra, se evaluó una jardinera con árboles de tipo olmo y pinos afganos, el suelo se encontraba cubierto por bermuda y otros tipos de cubresuelos, por lo que la combinación de vegetación provocaba una sombra densa que impedía la entrada de sol y de viento al lugar. En semisombra, se evaluó uno de los bordes del parque donde se encontraban jardineras con filas de árboles de tipo lila, el piso estaba recubierto de bermuda y la banqueta circundante de concreto. Y, en sol, se evaluó el centro del parque sobre el camino central de concreto, entre el pozo de absorción y la cancha multiusos (ver Figura 9).

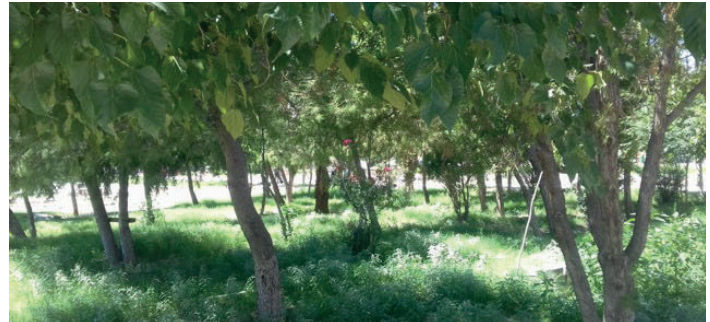


Figura 8. Parque Rincón del Valle, Ciudad Juárez, Chihuahua. Fuente: Fotografías de los autores

Lugar	Temp °C Máxima	Temp °C Mínima	Temp °C Promedio	HR% Máxima	HR% Mínima	HR% Promedio
Sombra	35,82	17,39	25,75	83,77	20,80	52,54
Semisombra	33,78	18,86	25,63	73,95	27,60	52,62
Sol	38,20	18,34	25,54	77,42	16,44	50,75

Tabla 3. Registros de temperatura y humedad relativa en el Parque Rincón del Valle. Fuente: Elaboración de los autores.

Los resultados del monitoreo mostraron que en el lugar con sombra la temperatura máxima alcanzada fue de 35,82°C a las 4:00 de la tarde, mientras que la mínima alcanzó los 17,39°C a las 6:45 de la mañana; en cuanto a la humedad relativa máxima y mínima alcanzada fue de 93,7% y 20,8% respectivamente. En semisombra, se registró una temperatura máxima de 33,78°C a las 5:00 de la tarde y una mínima de 18,86°C a las 7:00 de la mañana, mientras que la humedad relativa máxima fue de 73,9 % y la mínima, de 27,6%. Por último, en el sector expuesto al sol se registró una temperatura máxima de 38,20°C a las 5:30 de la tarde y una mínima de 18,34°C a las 7:00 de la mañana. Asimismo, se evidenció una humedad relativa máxima de 77,42 % y de 16,44, como mínima (ver Figura 10).

La diferencia de temperatura máxima es aquí de 2,38°C entre las zonas con mayor vegetación y las expuestas al sol, no obstante, la temperatura promedio habla de valores similares alrededor de los 25°C, al igual que el parque anterior. En cuanto a la humedad relativa, se registró una diferencia de 6,35% entre la sombra y el sol, y una diferencia de 1,79 % de humedad relativa promedio (ver Tabla 3).

El Parque Hidalgo tiene un área de 7.500 m<sup>2</sup> y está ubicado en la Colonia Hidalgo, en una zona habitacional de nivel medio donde se dan algunos casos de abandono de vivienda y deterioro. Esta colonia tiene una densidad de 61.97 hab/ha, las manzanas son de 7,200 m<sup>2</sup> y el ancho de las calles es de entre 10 y 12 metros (ver Figura 11).

Los materiales de los caminos del parque son de concreto y adoquín, mientras que el monumento es de cantera rosa y el mobiliario suele ser de material metálico. Este parque se encuentra en mal estado a pesar de que cuenta con el mantenimiento del municipio, pues suelen darse casos de inseguridad, lo que dificulta las gestiones respectivas.

El nivel de vegetación en este parque es muy bajo ya que contaba con 176 árboles, sin embargo, durante el trabajo de campo realizado, un cuarto de árboles tuvo que ser podado por el mal estado en el que se encontraban, quedando solo 132 árboles, los cuales representan una cobertura de 56.81 m<sup>2</sup> por árbol. Aquí se pueden encontrar algunos árboles dispersos como el ocotillo, moro macho, fresno, olmo, trueno, algunas palmas abanico y pinos afganos y ciprés italiano.

De acuerdo a los niveles de protección solar, solo se



Figura 9. Puntos de medición para el monitoreo en el Parque Rincón del Valle. Fuente: Elaboración de los autores.

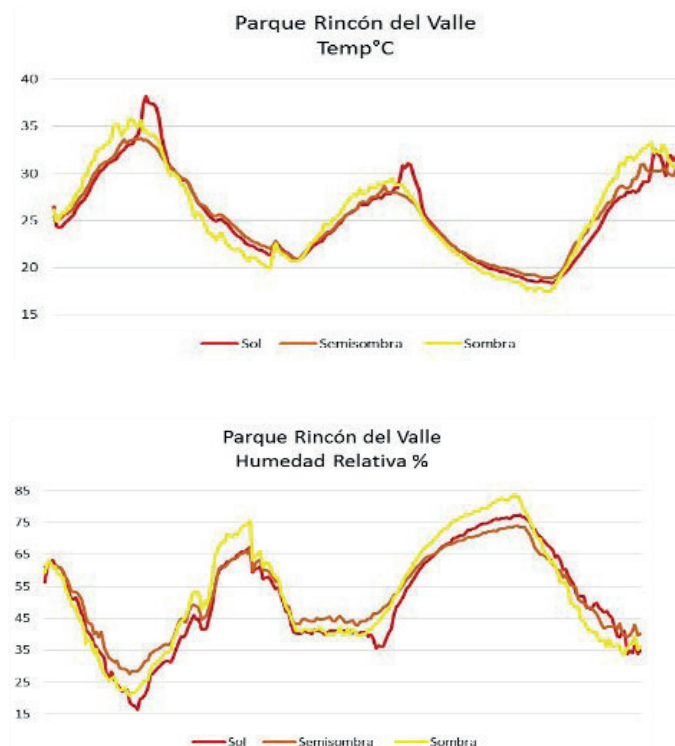


Figura 10. Gráficas de resultados del monitoreo en el Parque Rincón del Valle. Fuente: Elaboración de los autores.



Lugar	Temp °C Máxima	Temp °C Mínima	Temp °C Promedio	HR% Máxima	HR% Mínima	HR% Promedio
Sombra	34,70	18,93	25,72	71,27	23,42	48,69
Sol	35,23	18,65	25,66	75,78	19,25	48,67

Tabla 4. Registros de temperatura y humedad relativa en el Parque Hidalgo. Fuente: Elaboración de los autores.



Figura 11. Parque Hidalgo, Ciudad Juárez, Chihuahua. Fuente: Fotografías de los autores.

eligieron dos lugares para monitorear: en sombra, donde se evaluó una de las jardineras de bermuda con un pino afgano de gran tamaño que genera una sombra sobre el lugar en distintas horas del día; y en sol, que evaluó el centro del parque donde solía estar una lila de gran tamaño, pero al ser podada el lugar quedó en completa exposición al sol, junto a la plancha de adoquín cerca del monumento (ver Figura 12).

Los resultados del monitoreo muestran que la temperatura máxima registrada en sombra es de 34,70°C a las 5:00 de la tarde, mientras que la temperatura mínima registrada fue de 18,93 °C a las 6:15 de la mañana; en cuanto a la humedad relativa, se registró una máxima de 71,27% y una mínima de 23,42%. Por otra parte, en sol se alcanzó una temperatura máxima de 35,23°C a las 3:30 de la tarde, mientras que la mínima registrada fue de 18,65°C a las 6:30 de la mañana. Respecto a la humedad relativa, la máxima y mínima fueron de 75,78% y 19,25%, respectivamente (ver Figura 13).



Figura 12. Puntos de medición para el monitoreo en el Parque Hidalgo. Fuente: Elaboración de los autores.

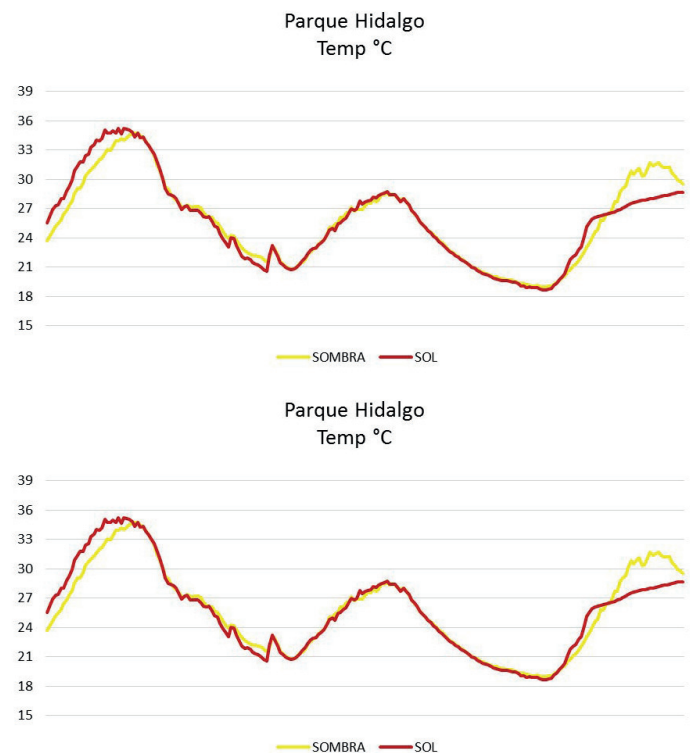


Figura 13. Gráficas de temperatura y humedad relativa registrada en el Parque Hidalgo. Fuente: Elaboración de los autores.



El parque tiene un comportamiento similar en los distintos sectores analizados, dados los bajos niveles de vegetación. Así, puede observarse que entre sombra y sol solo hay 0,53°C de diferencia, en la temperatura máxima, mientras que en la humedad relativa máxima existe una diferencia de 4%. Sin embargo, los valores promedio tanto de temperatura como de humedad relativa son los mismos, solo presentan unas décimas de diferencia (ver Tabla 4).

## CONCLUSIONES

Las áreas verdes representan una de las mejores medidas para revertir los efectos de las islas de calor urbano, no obstante, esto se dará solo si las condiciones de las mismas son las adecuadas al clima de la ciudad, así como también habrá una influencia directa de la estructura y diseño del parque, las especies utilizadas y su distribución, y la frecuencia de riego. Ahora bien, aun cumpliendo con los requerimientos adecuados para su buen funcionamiento, el impacto que cause en la zona donde se ubica el parque dependerá además de la morfología de esta, de su composición de materiales y de las avenidas circundantes, ya que el funcionamiento de la zona influirá directamente del balance energético que este tenga.

De los parques analizados, el Parque Hermanos Escobar es el que tiene potencial para actuar como un catalizador del clima en su entorno urbano, gracias a la diferencia de temperatura de 3,82°C entre las zonas vegetadas y las expuestas al sol, como también al diseño y composición del área verde, a la vegetación utilizada, al balance existente entre áreas construidas y vegetación, pero sobre todo a la cobertura de 6,9 m<sup>2</sup> por árbol.

El Parque Segunda Burócrata actúa igualmente como un catalizador del clima en esta zona, ya que contribuye a disminuir la temperatura en 2,17°C, y aunque existe el mismo balance entre las zonas construidas y vegetadas, la vegetación tiene una cobertura de 7m<sup>2</sup> por árbol. Sin embargo, esta suele concentrarse en lugares específicos dentro del parque, lo que disminuye el impacto que crea en la temperatura.

El Parque Rincón del Valle ayuda a aminorar la temperatura en 2,38°C, pero esta área verde tiene una gran descompensación de vegetación, ya que solo cuenta con una gran jardinera, y el nivel de cobertura del total de los arboles es de 55,61 m<sup>2</sup> por árbol, lo que dificulta que esta disminución de temperatura tenga un impacto sobre las distintas zonas del parque y sus alrededores.

Por último, el Parque Hidalgo contribuye a reducir la temperatura solo en 0,53°C, por la falta de vegetación, pues al contar con solo 132 árboles tiene una cobertura de 56.81 m<sup>2</sup> por árbol. Esto significa que la poca vegetación existente apenas tiene un impacto sobre las zonas expuestas al sol, lo que dificulta que este parque funcione como un mecanismo de control para las islas de calor en la zona.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los distintos parques, se puede concluir que la morfología e intensidad de las islas

de calor dependerá directamente de las características del área verde, el nivel de vegetación, el tipo de especies, el mantenimiento, frecuencia de riego, el tipo de materiales de construcción y el balance energético de la zona en la que se encuentren, ya que esto determinará el impacto que tendrán sobre las ICU.

Lo anterior supone que al momento de planificar las ciudades no solo se debe incluir el espacio para recreación y área verde, sino crear lineamientos y normativas que vayan de acuerdo al diseño correcto de dichos espacios y que respondan a las condiciones climáticas de cada ciudad, así como a las condiciones de la zona urbana en la que se instalen para que, en definitiva, la urbanización minimice el impacto de las ICU.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁNGEL, Laura; RÁMIREZ, Alberto y DOMÍNGUEZ, Efraín. Islas de calor y cambios espacio-temporales de la temperatura en la ciudad de Bogotá. *Ciencias de la Tierra*, 2010, vol. 34, pp.173-183.

AKBARI, Hashem; CARTALIS, Constantinos; KOLOKOTSA, Denia; MUSCIO, Alberto; PISELLO, Anna Laura y ROSSI, Federico. Local climate change and urban heat island mitigation techniques. The estate of the art. *Journal of Civil Engineering and Managment*, 2016, vol. 22, pp. 1-16.

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. *Servicio Meteorológico Nacional*, 2016. Obtenido de Normales Climatológicas por Estación. Disponible en: [www.smn.cna.gob.mx](http://www.smn.cna.gob.mx)

FERNÁNDEZ, Felipe. El clima urbano. En: Fernández García, F. *Manual de climatología aplicada*. Madrid: Síntesis, 1996, pp. 253-273.

INSTITUTO MUNICIPAL DE INVESTIGACIÓN Y PLANEACIÓN (IMIP). *Plan de Desarrollo Urbano Sostenible*, 2016.

JMAS. *Junta Municipal de Agua y Saneamiento Juárez*. Agosto de 2016. Disponible en: <http://www.jmasjuarez.com/fuentes.php>

KURBÁN, Alejandra y CÚNSULO, Mario. Estudio del efecto térmico de espacios verdes urbanos del árido con sensores urbanos. *Hábitat Sustentable*, 2015, vol. 5, n° 2, pp. 42-55.

OCHOA DE LA TORRE, José Manuel. *La vegetación como instrumento para el control microclimático*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya, 1999.

PULIAFITO, Salvador; BOCHACA, Fabián y ALLENDE, David. Mitigación de la isla de calor urbana en ciudades de zonas áridas. *Proyecciones*, 2013, vol. 11, n° 2, pp. 29-45.

REYES, Sonia y FIGUEROA, Isabel. Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile, *Eure*, 2010, vol. 36, n° 109, pp. 89-110

SANDOVAL, Jose Luis. *Efectos del crecimiento urbano sobre el sistema ambiental en la región Paso del Norte*. Ciudad Juárez: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2014.

WONG, Nyuk Hien y YU, Chen. Study of green areas and urban heat island in a tropical city. *Habitat Internacional*, 2005, vol. 29, pp. 547-558.



# LAS ENVOLVENTES CONSTRUCTIVAS EN LA CONSTRUCCIÓN NO CONVENCIONAL DE EDIFICIOS DEL NORDESTE ARGENTINO Y EL PROBLEMA DE LOS PUENTES TÉRMICOS

Artículo  
Recibido 10-12-2016  
Aceptado 20-12-2016

## BUILDING ENVELOPES IN NON-CONVENTIONAL BUILDING CONSTRUCTION IN NORTHEAST ARGENTINA AND THE PROBLEM OF THERMAL BRIDGES.

MANUEL VENHAUS HELD

Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad Nacional del  
Nordeste (FAU-UNNE), Corrientes, Argentinas  
manu\_ven@hotmail.com

HERMINIA MARÍA ALÍAS SOTO

Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad Nacional del  
Nordeste (FAU-UNNE), Corrientes, Argentinas  
heralias2001@yahoo.com.ar

GUILLERMO JOSÉ JACOBO BROZZONI

Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad Nacional del  
Nordeste (FAU-UNNE), Corrientes, Argentinas  
gjjacobo@arqu.unne.edu.ar

### RESUMEN

Este trabajo analizó el comportamiento térmico de las envolventes de edificios en el Nordeste Argentino (NEA), cuyos sistemas constructivos emplean materiales prefabricados elaborados en serie y mano de obra especializada, atendiendo particularmente al impacto de los puentes térmicos. El objetivo fue diagnosticar y desarrollar criterios de optimización del desempeño energético de estas envolventes. Se estudiaron, para ello, los tipos y subtipos de construcciones no convencionales y se seleccionaron muestras de aquellos más empleados en el NEA. Éstas fueron evaluadas con los procedimientos de cálculo establecidos por las normas IRAM, de la serie 11.600, así como también mediante simulaciones realizadas con el software THERM. Los valores que pudieron obtenerse con ambos procedimientos presentaron discrepancias promedio del 2,6%. Con el software es posible obtener un coeficiente ponderado de transmitancia que incorpora muro opaco y puente térmico y, con la graficación del flujo de calor a través del cerramiento, reconocer fácilmente los puntos más críticos, para concentrar las acciones de optimización en ellos.

### Palabras clave

prefabricación, discontinuidades de la envolvente, programas de simulación, desempeño térmico.

### ABSTRACT

This research analyzed the thermal performance of building envelopes in Northeast Argentina (NEA), whose construction systems use mass-produced, prefabricated materials and specialized workers. Particular attention was paid to the impact of thermal bridges. The objective was to diagnose and develop criteria to optimize the energy performance of these envelopes. To this end, the types and subtypes of non-conventional buildings were studied and samples of those most used in NEA were selected. These were evaluated using the calculation procedures established by the 11,600 series of the IRAM standards, as well as by simulations performed with THERM software. The values that were obtained with both procedures presented average discrepancies of 2.6%. With the software it is possible to obtain a weighted coefficient of transmittance that incorporates opaque walls and thermal bridges and, by graphing the heat flow through the element, easily recognize the most critical points, to thus concentrate optimization actions

### Keywords

prefabrication, discontinuities of the envelopes, software, thermal performance.

## INTRODUCCIÓN

El clima de la zona bioambiental en que se inscribe el Nordeste Argentino (NEA), la zona "I" -subzona "b"- , según la norma 11.603 del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), es muy cálido, con altas temperaturas en verano e inviernos moderados. Ello, en combinación con altas humedades relativas, da lugar a sensaciones psicofísicas de discomfort en los usuarios de edificios. Considerando, por otro lado, que ciertas estadísticas demuestran que los edificios son responsables de más del 40% de la energía consumida en Argentina (Weber, 2013), que de esa energía la mayor parte es consumida para calefacción y refrigeración (es decir, para la climatización de los ambientes interiores), y que el 50% de ella es ganada o perdida a través de los cerramientos opacos del edificio, el presente trabajo busca analizar, evaluar, diagnosticar y proponer criterios para mejorar térmicamente las envolventes exteriores de edificios materializados mediante la tecnología y los materiales de la construcción no convencional, en los principales centros urbanos del NEA. Se considera muy importante y necesario aumentar la eficiencia energética de estos edificios a fin de lograr que sus espacios interiores reúnan condiciones higrotérmicas más cercanas a las del confort y, por lo tanto, demanden un uso menos intensivo de dispositivos electromecánicos de climatización artificial, disminuyendo así el consumo de energía.

Los "sistemas constructivos no convencionales" se definen como aquellos que, por su empleo de materiales o técnicas novedosas, son poco conocidos y su uso no se encuentra ampliamente difundido en una determinada región. Estos sistemas, por lo general, se caracterizan por producir "edificios [,] reemplazando la mano de obra artesanal, con máquinas utilizadas por obreros especializados en su manejo, o con máquinas automáticas" (García Marquina, 2013). Los primeros antecedentes de construcción no convencional pueden encontrarse en el siglo XVI, pero sería a partir del XIX, cuando se persigue una mayor eficiencia en los procesos productivos, que este tipo de edificación experimentaría un desarrollo acelerado, especialmente en Europa y Estados Unidos. A pesar de su extendida implementación en países desarrollados, su empleo aún no es frecuente en la región del NEA (aunque se ha visto incrementada notablemente en los últimos años).

El estudio y las propuestas de optimización desarrolladas en el presente artículo centran especial atención en el impacto que tienen los puentes térmicos en el comportamiento higrotérmico general de los cerramientos exteriores. El IRAM los define como "heterogeneidades de un elemento constructivo que forman parte de la envolvente (pared, piso, techo, etc.) de un edificio [, y] que ocasionan mayor flujo de calor a través de ésta". Estas discontinuidades representan verdaderos puntos críticos que se extienden por

toda la envolvente de los sistemas constructivos no convencionales de mayor difusión y uso, principalmente representados por la construcción en seco, a través de algunas de las formas de los sistemas de entramado y emplacado. Las estructuras portantes de los edificios así materializados constituyen importantes puentes térmicos que ocasionan comportamientos estructurales, físicos, mecánicos e higrotérmicos diferenciales y frecuentemente causan patologías constructivas.

## DESARROLLO Y RESULTADOS

A partir de un relevamiento de los principales tipos y subtipos de construcciones no convencionales y los materiales empleados para su elaboración en la región del Nordeste Argentino, se reconoció como principal exponente de los sistemas livianos el sistema con entramado de madera. Este subtipo, también llamado *balloon framing*, se constituye por la combinación de elementos portantes ligeros de madera, denominados soleras y montantes, distanciados unos 40 a 60 cm entre sí, formando bastidores portantes. Asimismo, se identificó el uso extendido del sistema liviano con entramado metálico, el cual deriva del primero y emplea para la constitución de los entramados perfiles metálicos galvanizados conformados en frío, con forma de "C" o "U". En ambos casos los bastidores que sirven de estructura se completan con variados elementos de cerramiento y revestimiento, utilizados como acabado y protección. El sistema liviano de paneles prefabricados fue otro sistema liviano reconocido. Está formado por paneles del tipo "sándwich" con estructura de madera para constituir tabiques interiores, exteriores y cielorrasos. La estructura interna de los paneles se materializa con bastidores de madera y su terminación interior es de placas de roca de yeso. La terminación exterior varía de acuerdo a la marca comercial, materializándose por lo general con placas cementicias de alto impacto, y pudiendo incluso conformarse con mamposterías, lo que otorga una imagen más tradicional.

En cuanto a los "sistemas de construcción no convencional pesados", se destaca el uso del sistema de grandes paneles, con paneles transversales de carga de hormigón armado, espaciados a 3,00 m, y paneles rigidizantes en la parte central de los edificios (Mac Donnel y Mac Donnel, 1999). Las terminaciones interiores se elaboran con placas de roca de yeso sobre estructuras metálicas.

Dentro del grupo de "sistemas industrializados *in situ*", se analizó como exponente principal al sistema de paneles aligerados con núcleo de poliestireno expandido y malla electro-soldada espacial. Este tipo de sistema industrializado abierto utiliza paneles de poliestireno expandido y mallas de acero prefabricados en forma modular que luego reciben la aplicación

a presión de un revoque estructural de hormigón en obra, el que provee tanto estructura como protección y terminación.

Aislación hidráulica, térmica y acústica se incorporan en estos sistemas constructivos no convencionales como elementos constituyentes de las multicapas que caracterizan sus cerramientos. Por otro lado, la repetición de piezas estructurales para la conformación de los bastidores y estructuras portantes es otro factor característico de los sistemas reconocidos. Estas piezas interrumpen el normal desarrollo de las aislaciones térmicas en las multicapas, conformando las heterogeneidades conocidas como puentes térmicos. Salvando diferencias de materiales, escuadrías, formas y separación de estas estructuras intermedias en los distintos sistemas constructivos, puede decirse que representan alrededor del 10% de desarrollo normal de las envolventes. De allí la importancia de su ponderación y optimización.

### **NORMAS TÉCNICAS VIGENTES**

Para el análisis del comportamiento general de las envolventes de los sistemas constructivos antes descritos, este fue evaluado de acuerdo a tres metodologías. En primer lugar, la muestra de sistemas constructivos fue analizada en base a las normas técnicas vigentes en los principales centros urbanos de la región. Se evaluó el cumplimiento de las condiciones técnico-constructivas que los reglamentos generales de construcción y los códigos de edificación locales y regionales establecen para la construcción no convencional. Estos se concentran en profundidad en la reglamentación del diseño de ambientes (dimensiones, iluminación, ventilación), en la imagen de las obras y en la conformación urbana que surge del conjunto de ellas. En cuanto a sistemas o materiales constructivos no convencionales, presentan una definición, clasificación y prescripción poco detallada y muy escueta. En forma generalizada, exigen la presentación del "certificado de aptitud técnica" (C.A.T.) para la obtención de permiso para uso de sistemas constructivos no convencionales. Dicho certificado, entregado por la Subsecretaría de Vivienda y Desarrollo Ambiental de la Nación, se otorga a todo material, elemento o sistema constructivo que considere "no tradicional". Su obtención implica la presentación de informes detallados sobre materias primas y procesos de fabricación empleados, así como la aplicación final de los materiales, componentes o sistemas. De igual modo, se exige la presentación de ensayos de conductividad térmica y resistencia al paso de vapor de agua. Algunos municipios, incluso detallan un mecanismo propio de certificación de aptitud técnica. Usualmente, estas se expiden por plazos de tres años, después de los cuales deben ser renovados. De esta manera se asegura la revisión y optimización constante de los sistemas constructivos que poseen estas certificaciones.

### **NORMAS DE HABITABILIDAD VIGENTES**

Seguidamente, en este estudio se emplearon los procedimientos establecidos por la Normativa de Habitabilidad del IRAM, específicamente las normas IRAM de la serie 11.600, para evaluar los diferentes sistemas constructivos en estudio. En primer lugar, se determinó el coeficiente de transmitancia térmica (K) para cada sistema, de acuerdo a los métodos de cálculo del aislamiento térmico de edificios propuestos por la norma IRAM 11.601. El método procede de manera individualizada en el cálculo de la Transmitancia Térmica Lineal de la porción opaca del muro " $K_{mo}$ " y de la porción de los puentes térmicos " $K_{pt}$ ". Los valores obtenidos deben luego compararse con las transmitancias térmicas máximas admisibles establecidas por la norma IRAM 11.605 para cada una de las zonas bioambientales en que divide al territorio nacional. A partir de los valores obtenidos de estas verificaciones, pudo determinarse que el 80% de los sistemas constructivos analizados alcanza para verano el nivel A, es decir, el recomendado para las zonas bioambientales I y II, en que se inscribe el NEA. Para la situación de invierno, el 40% cumple con el nivel A y el 60% restante, con el nivel B (medio).

Una vez establecidas las transmitancias térmicas lineales de ambas porciones del cerramiento, se analiza la relación entre sus valores ( $K_{pt}/K_{mo}$ ) para determinar la aptitud del cerramiento respecto a los puentes térmicos. La misma se logra si la transmitancia térmica de un puente térmico no supera en más del 50% el valor de transmitancia térmica del muro opaco, es decir,  $K_{pt}/K_{mo} \leq 1,5$ . En casos especiales, en que la distancia entre los puentes térmicos lineales es menor a 1,70 m., lo cual constituye el caso general de los bastidores de los sistemas constructivos no convencionales, la tolerancia se reduce al 35% ( $K_{pt}/K_{mo} \leq 1,35$ ). Respecto a este punto, el 80% de los sistemas constructivos resultó insatisfactorio, pudiendo reconocerse la tendencia de disminución de la aptitud de los sistemas constructivos no convencionales respecto a los puentes térmicos cuanto menor es la transmitancia térmica de sus muros opacos, es decir, cuanto mayor resulta la diferencia o heterogeneidad entre ambas situaciones o secciones.

Continuando con las evaluaciones, se aplicó la norma IRAM 11.625 para determinar los riesgos de condensación superficial e intersticial en la estación de invierno de las soluciones tecnológicas en estudio. Partiendo de las condiciones climáticas (temperaturas de diseño y humedad relativa) establecidas por la norma para la Ciudad de Resistencia, capital de la Provincia del Chaco, se consideraron los coeficientes de transmitancia térmica (K) obtenidos anteriormente y la resistencia al paso de vapor de agua de cada una de las capas constitutivas. Ninguno de los sistemas constructivos evaluados presenta riesgo de ocurrencia de condensaciones superficiales. No obstante, cada uno de ellos registró riesgo de ocurrencia de condensación intersticial, por lo general a partir del material aislante hacia las capas constitutivas exteriores



del cerramiento. La consecuente aparición de agua en las capas intersticiales de los cerramientos edilicios altera sus propiedades físicas y químicas, poniendo en riesgo su durabilidad, comportamiento mecánico e higrotérmico.

### SIMULACIONES CON THERM 6.3.

Finalmente, los cerramientos tipológicos de los sistemas constructivos no convencionales usados habitualmente en el NEA fueron estudiados mediante simulaciones desarrolladas por el software THERM, en su versión 6.3. Se trata de "un programa de cálculo de calor en régimen estacionario que resuelve numéricamente la ecuación de transmisión de energía en dos dimensiones a través de la sección transversal de elementos de construcción, como ventanas, paredes, cimientos, techos y puertas" (Lawrence Berkeley National Laboratory, 2013). El software, desarrollado en Estados Unidos, se encuentra disponible para su descarga gratuita, únicamente en idioma inglés. Además, utiliza para el desarrollo de los cálculos el método de elementos finitos, que propone la resolución de los problemas planteando una serie de ecuaciones algebraicas simultáneas y arroja valores aproximados de incógnitas en un número finito de localizaciones dentro del cuerpo. Los resultados obtenibles de las simulaciones incluyen valores numéricos de transmitancia térmica (*U-factors*), e información gráfica como vectores de flujo (*flux vectors*) o caminos preponderantes seguidos por el calor, isoterms (*isotherms*) o líneas de igual temperatura, y la transmisión del flujo de calor mediante escala de colores (*color infrared*).

Después de dibujar las geometrías de la sección transversal de los cerramientos tipológicos en THERM con la incorporación de plantillas DFX, se asignó a cada geometría el material correspondiente, a partir de una "biblioteca de materiales" creada con los mismos valores de conductividad térmica empleados en los cálculos de acuerdo a IRAM. Las simulaciones se realizaron considerando una situación de verano, que afecta en mayor medida al NEA, con un flujo de calor desde el exterior hacia el interior, en sentido horizontal por haber estudiado en detalle los cerramientos verticales. De acuerdo a estas premisas se determinaron las condiciones de contorno (o *boundary conditions*) del modelo simulado, aplicando para el exterior una temperatura máxima de diseño, establecida por la norma IRAM 11.603 en 39,8°C para resistencia, y una conductancia de la capa superficial de aire de 25,00 W/m<sup>2</sup>K, correspondiente a los 0,04 m<sup>2</sup>K/W de resistencia superficial exterior (*Rse*). Como condiciones interiores, se adoptó una temperatura ideal de diseño interior de 25°C para verano y 7,69 W/m<sup>2</sup>K como conductancia de la capa superficial de aire, equivalente a los 0,13 m<sup>2</sup>K/W de resistencia superficial interior (*Rsi*) establecida por IRAM. Una vez determinados todos estos parámetros, se procedió a la simulación de los cinco sistemas constructivos no convencionales seleccionados.

Es importante destacar que el software THERM calcula la transmitancia térmica total del modelo dibujado. Esto significa que si en un mismo modelo se simula el

comportamiento de la sección transversal de un determinado sistema constructivo, incorporando tanto el muro opaco como al puente térmico, se obtienen gráficos que muestran de forma clara la influencia de las heterogeneidades en la transmisión de calor a través de los cerramientos. De esta manera, es también posible obtener un "coeficiente ponderado de transmitancia térmica", que representaría la "transmitancia promedio" del cerramiento, teniendo en cuenta la importante presencia de puentes térmicos en la construcción no convencional. Este procedimiento no obstante impide establecer las relaciones entre muro opaco y puente térmico (*K<sub>pt</sub>/K<sub>mo</sub>*) de acuerdo a la normativa de habitabilidad vigente del IRAM, descrita previamente, y determinar a partir de ella la aptitud del cerramiento respecto a los puentes térmicos. Tales consideraciones demandan la simulación de ambas porciones en modelos separados, lo cual, desde el punto de vista gráfico, resulta poco interesante, ya que la riqueza ilustrativa se pierde debido a la transmisión homogénea de calor que se evalúa. Debido a estas cuestiones se simuló con THERM 6.3, para cada sistema constructivo, un modelo de muro opaco aislado, otro únicamente con la porción de puente térmico y un último que incorpora ambos.

En cuanto a valores numéricos de transmitancia térmica obtenidos mediante THERM y a partir de IRAM, se registra una gran similitud en los resultados, existiendo una discrepancia promedio de 3,4% que se acrecienta conforme se complejiza la figura de la sección transversal. Esto implica que la categorización de acuerdo a las zonas bioambientales y la aptitud respecto a puentes térmicos (*K<sub>pt</sub>/K<sub>mo</sub> ≤ 1,35*) se mantienen. Si, en cambio, se considera la transmitancia térmica ponderada, los rendimientos de los sistemas constructivos disminuyen considerablemente. En este caso, el 40% de los sistemas constructivos alcanzaría el nivel A para verano y únicamente el 20% el mismo nivel para invierno, en tanto que el 40% se ubicaría en el nivel B para verano y el 60%, para invierno. Esto denota los errores en que se incurre al considerar para la categorización únicamente los valores de transmitancia térmica del muro opaco, olvidando la importante influencia de los puentes térmicos en el comportamiento general de los entramados estructurales. Si se analizan los resultados gráficos obtenidos con THERM, puede advertirse que al verse el aislante térmico interrumpido por un elemento estructural (puente térmico), las líneas isoterms tienden a bordear la heterogeneidad, acercándose a los límites del cerramiento. Por otro lado, se reconoce la concentración de vectores de flujo y, por lo tanto, de la transmisión del calor en los puentes térmicos, demostrando asimismo el poder de atracción del flujo que tienen sobre sectores de muro opaco.

A partir de lo expuesto, puede reconocerse -desde el punto de vista del comportamiento higrotérmico y energético general- como principal punto crítico de los sistemas constructivos no convencionales de uso habitual en la región, la inaptitud general de los cerramientos respecto a los puentes térmicos, dada la falta de proporcionalidad entre los valores de transmitancia térmica de las diferentes porciones del cerramiento.



## OPTIMIZACIÓN

Identificada la principal falencia de los sistemas, se propusieron medidas de optimización del diseño de los sistemas constructivos, en aras de mejorar sus comportamientos frente a la transmisión del calor y, en especial, de atenuar el efecto de los puentes térmicos. En primer lugar, se planteó el reemplazo del material que constituía al puente térmico por uno de menor valor de conductividad, sin modificar sus propiedades mecánicas. Por ejemplo, las armaduras de acero pudieron ser reemplazadas por varillas de resina de vinil y fibra de vidrio. Otra medida aplicada fue la sustitución del material aislante de baja conductividad térmica por otro de conductividad mayor, sin que el cerramiento en general perdiera la clasificación obtenida respecto a IRAM 11.605 para las zonas bioambientales I y II. Asimismo, se procedió con la reubicación de la porción aislante dentro de las capas del cerramiento: se lo retiró de su ubicación usual en el espacio dejado por los entramados estructurales y se lo ubicó por delante del mismo, permitiendo cubrir y proteger

con aislación térmica todo el cerramiento. Esto, a su vez, permitió dejar los intersticios estructurales rellenos de aire y de menor resistencia térmica que los materiales aislantes colocados anteriormente en la misma posición, reduciendo considerablemente la diferencia de conductividad térmica entre ambas porciones del cerramiento. Las diferentes capas constitutivas de la sección transversal deben, igualmente, mantenerse unidas entre sí y para ello requieren elementos de fijación. Debido a esto, la continuidad estricta del aislante no siempre es posible ya que se constituyen puentes térmicos no solo por motivos estructurales generales de la edificación, sino por causas propias del cerramiento. Por tal razón, se buscó reemplazar este tipo de situaciones por componentes que empleen sistemas de fijación sin necesidad de estructuras intermedias, como las placas de roca de yeso de terminación interior, aplicadas como revoques secos con el uso de adhesivos, en vez de medios tabiques con estructura de perfiles galvanizados. Los resultados más relevantes de la aplicación de ambos medios de evaluación y en los casos originales y optimizados pueden observarse en la Tabla 1.

Situación Original		Situación Optimizada		Situación Original		Situación Optimizada	
<b>Sistema Liviano con Entramado de Madera</b>				<b>Sistema Liviano con Entramado Metálico</b>			
Cerramiento Tipo Balloon Frame con terminación exterior de Siding de Pino e interior de Machimbre de Pino		Reubicación del Aislante Térmico en la cara interna para abarcar al Puente Térmico		Cerramiento Tipo Steel Frame con term. ext. de Revestimiento Plástico e int. de Roca de Yeso		Reubicación del Aislante Térmico en la cara interna para abarcar al Puente Térmico	
Coeficiente de Transmitancia Térmica		Coeficiente de Transmitancia Térmica		Coeficiente de Transmitancia Térmica		Coeficiente de Transmitancia Térmica	
Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM	Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM	Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM	Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM
0,2624 W/m <sup>2</sup> C	0,3220 W/m <sup>2</sup> C	0,4826 W/m <sup>2</sup> C	0,4812 W/m <sup>2</sup> C	0,3896 W/m <sup>2</sup> C	0,6004 W/m <sup>2</sup> C	0,4530 W/m <sup>2</sup> C	0,4919 W/m <sup>2</sup> C
Nivel A (verano)	Nivel A (verano)	Nivel A (verano)	Nivel A (verano)	Nivel A (verano)	Nivel B (verano)	Nivel A (verano)	Nivel A (verano)
NO Apto respecto a Puentes Térmicos		SI Apto respecto a Puentes Térmicos		NO Apto respecto a Puentes Térmicos		SI Apto respecto a Puentes Térmicos	
<b>Sistema Liviano de Paneles Prefabricados</b>				<b>Sistema de Grandes Paneles</b>			
Panel Sandwich de Madera de Pino con term. ext. de Placa Cementicia e int. de Roca de Yeso		Reubicación del Aislante Térmico en la cara externa para abarcar al Puente Térmico		Cerramiento Panel Portante de H <sup>o</sup> A <sup>o</sup> con terminación exterior de Revoque a la Cal e interior de Placas de Roca de Yeso		Eliminación del Puente Térmico aplicando un Revoque Seco sobre Poliestireno Expandido	
Coeficiente de Transmitancia Térmica		Coeficiente de Transmitancia Térmica		Coeficiente de Transmitancia Térmica		Coeficiente de Transmitancia Térmica	
Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM	Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM	Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM	Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM
0,2755 W/m <sup>2</sup> C	0,4243 W/m <sup>2</sup> C	0,4698 W/m <sup>2</sup> C	0,4641 W/m <sup>2</sup> C	0,9731 W/m <sup>2</sup> C	0,9856 W/m <sup>2</sup> C	0,5294 W/m <sup>2</sup> C	0,5296 W/m <sup>2</sup> C
Nivel A (verano)	Nivel A (verano)	Nivel A (verano)	Nivel A (verano)	Nivel B (verano)	Nivel B (verano)	Nivel A (verano)	Nivel A (verano)
NO Apto respecto a Puentes Térmicos		SI Apto respecto a Puentes Térmicos		SI Apto respecto a Puentes Térmicos		SI Apto respecto a Puentes Térmicos	

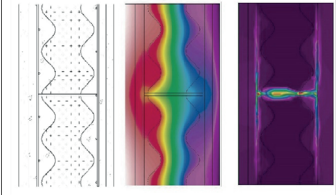
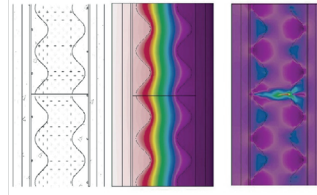
Situación Original		Situación Optimizada	
<b>Sistema de Paneles Aligerados con Núcleo de Poliestireno y Malla Electro-soldada Espacial</b>			
Cerramiento de Poliestireno Expandido y Malla Electro-soldada con Hormigón Proyectado.		Reemplazo del Acero por Vanillas de Resina de Vinil y Fibra de Vidrio.	
			
Coeficiente de Transmitancia Térmica		Coeficiente de Transmitancia Térmica	
Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM	Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM
<b>0,5090 W/m2°C</b>	<b>2,5319 W/m2°C</b>	<b>0,5082 W/m2°C</b>	<b>0,5868 W/m2°C</b>
<b>Nivel A (verano)</b>	<b>No califica</b>	<b>Nivel A (verano)</b>	<b>Nivel B (verano)</b>
<b>NO Apto</b> respecto a Puentes Térmicos		<b>NO Apto</b> respecto a Puentes Térmicos	

Tabla 1. Comparación de situación original y optimizada de los sistemas constructivos no convencionales analizados.  
 Fuente: Elaboración de los autores.

Los gráficos ilustrados en cada situación corresponden a un detalle de la sección transversal del sistema en estudio (izquierda), a la Escala Colorimétrica de Gradiente de Temperatura (centro) y a la Escala Colorimétrica de Magnitudes de Flujo (derecha). En ambas escalas, los colores fríos (azules y morados) corresponden a temperaturas y flujos de calor bajos, mientras los colores cálidos (amarillos y rojos) representan temperaturas y flujos de calor altos.

Si se analizan los resultados obtenidos de la aplicación de los criterios de optimización, puede observarse en todos los casos que el gradiente de temperatura a través de la sección transversal se vuelve más regular, respecto a la situación original. La generación de isotermas más paralelas, que ya no bordean la heterogeneidad, denota la atenuación del efecto del puente térmico. Las variaciones en el valor de coeficiente ponderado de transmitancia térmica, por su lado, siguen distintas tendencias. En algunos casos, el valor en la situación optimizada disminuye respecto a la original, correspondiendo a la eliminación del puente térmico o al reemplazo del material altamente conductor térmico que lo conformaba, por otro de menor poder de transmisión del calor. En otros casos, el valor aumenta en la situación optimizada, lo cual en principio podría considerarse indeseado, ya que las ganancias y pérdidas térmicas a través del cerramiento también se incrementarían. Ello, sin embargo, implica una disminución de la diferencia entre la transmitancia térmica de la porción de muro opaco y la del puente térmico, lográndose en el 80% de los casos la aptitud respecto a los puentes térmicos, frente al 20% registrado en la situación original, con lo cual se consigue, ciertamente, el objetivo principal del presente trabajo. No obstante, los valores de transmitancia térmica en la situación optimizada se mantienen dentro de los márgenes del nivel A (óptimo) propuesto por la norma IRAM 11.605.

Otro fenómeno observado principalmente en los sistemas que emplean elementos de madera como estructura principal de los entramados, es que al reubicar el material aislante las heterogeneidades se convierten en los puntos del cerramiento en que se producen los menores flujos de calor, ya que, debido a su masa, ofrecen mayor resistencia al paso de temperatura que las cámaras de aire ubicadas en sus intersticios en reemplazo del material aislante que lo ocupaba anteriormente. Así, la lógica de muro opaco y puente térmico se invierte.

## CONCLUSIONES

Los sistemas de construcción no convencional de empleo más usual en el Nordeste Argentino incorporan, desde la etapa de diseño, consideraciones de confort ambiental y aislación térmica, que los dotan de comportamientos higrotérmicos y energéticos generales buenos, verificados a partir de distintas metodologías. Sin embargo, las tipologías constructivas que pudieron analizarse cuentan, por su naturaleza estructural, con un gran número de puentes térmicos, que dejan de ser "anomalías" en el desarrollo de las envolventes para convertirse en elementos preponderantes. La influencia negativa que éstos tienen en el paso de energía calórica a través de las secciones transversales no siempre es considerada al momento de diseñar, volviéndose problemas crónicos de las soluciones construidas. Es por ello que los puentes térmicos deben ser considerados elementos principales y no excepciones en la construcción no convencional, y su mitigación debe, asimismo, constituirse en un imperativo desde el proceso de diseño de sistemas industrializados que contemplan principios de racionalidad, mecanización y automatización, buscando no solo la menor conductividad térmica posible en la porción opaca, sino un estudio de la relación y proporcionalidad entre ésta y los puentes térmicos.

Las consideraciones aquí mencionadas y las propuestas de optimización de los sistemas constructivos planteadas y verificadas, pretenden una factibilidad de aplicación por parte de los diferentes diseñadores en la región. Sin embargo, deben acompañarse por una revisión, ampliación y mayor exigencia y control en el cumplimiento efectivo de la normativa de habitabilidad y técnico-constructiva vigentes, en especial si se entiende que las mejoras en los rendimientos de los diferentes sistemas constructivos significan en la mayoría de los casos aumentos de los costos iniciales -los únicos que, por lo general, son tomados en cuenta, olvidando las disminuciones en costos de mantenimiento a largo plazo que pueden lograrse. En una industria tan competitiva como la de la construcción, ello genera pérdida de competitividad, más cuando no todos los actores aplican o son obligados a aplicar iguales criterios de diseño. Resulta necesario, en tal sentido, un cambio de paradigma que contemple principalmente costos económicos y ambientales de todo el ciclo de vida de las edificaciones, sobre todo ante la crisis ecológica mundial y el déficit energético que vive la región.

El uso de un software de simulación, en este caso específico THERM 6.3, se estima una herramienta muy útil y confiable para el cálculo de la transmitancia térmica de las secciones transversales, como complemento a la normativa de habitabilidad vigente en la Argentina, aunque no la suplanta, ya que para poder establecer iguales relaciones a las obtenidas con la norma IRAM ( $K_{pt}/K_{mo}$ ) deben desarrollarse una serie adicional de operaciones. El software tampoco calcula los riesgos de condensación superficial e intersticial de los diferentes cerramientos, verificaciones muy importantes en la determinación de sus comportamientos higrotérmicos. Otra desventaja reconocida aquí, considerando usuarios de habla no inglesa, es que en la actualidad el software y sus manuales de uso únicamente se encuentran disponibles en idioma inglés. No obstante, se advierten, en definitiva, dos grandes ventajas en la aplicación de este tipo de software. En primer lugar, la posibilidad de obtener un coeficiente ponderado de transmitancia térmica, que incorpora ambas porciones del cerramiento y determina un valor de transmitancia térmica promedio que puede aplicarse a toda la envolvente. En segundo, se trata de una herramienta muy útil para diseñadores por proveer información muy valiosa de orden gráfico. Dicha información no es aportada por IRAM y es de gran utilidad para el reconocimiento claro del comportamiento de las secciones transversales de los cerramientos y, en especial, de la influencia que ejercen los puentes térmicos en el comportamiento higrotérmico y energético.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GARCÍA MARQUINA, Esteban. *Estudio-Diagnóstico sobre las posibilidades del desarrollo de una edificación residencial industrializada dirigida a satisfacer las necesidades de vivienda pública y muy especialmente en alquiler en la comunicada autónoma del País Vasco*. España: Eraikal, Departamento de Vivienda, Obras Públicas y Transporte del Gobierno Vasco, 2013.

INSTITUTO ARGENTINO DE RACIONALIZACIÓN DE MATERIALES (IRAM). *Norma 11.549: Aislamiento térmico de edificios. Vocabulario*. Tercera edición. Buenos Aires, Argentina, 2002.

LAWRENCE BERKLELEY NATIONAL LABORATORY (LBNL). *Therm 6.3 / Window 6.3 NFRC Simulation Manual*. Berkeley, California, Estados Unidos [en línea]. [Consultado 12 septiembre 2016]. Disponible en: <https://windows.lbl.gov/software/NFRC/SimMan/NFRCsim6.3-2013-07-Manual.pdf>

MAC DONNEL, Horacio y MAC DONNEL, Horacio Patricio. *Manual de Construcción Industrializada*. Buenos Aires: Editorial Revista Vivienda S.R.L., 1999.

WEBER, fabricante de morteros industriales para la construcción. *SATE aislación térmica por exterior* [en línea]. [Consultado 3 diciembre 2015]. Disponible en: <http://www.weber.es/sate-aislamiento-termico-por-el-exterior/ayuda-y-consejos/por-que-aislar-y-por-que-hacerlo-por-el-exterior.html>



# CONFORT TÉRMICO EN ESPACIOS VERDES URBANOS DE AMBIENTES ÁRIDOS

Artículo  
Recibido 04-08-2016  
Aceptado 20-12-2016

## THERMAL COMFORT IN URBAN GREEN SPACES IN ARID ENVIRONMENTS

ALEJANDRA KURBÁN LÓPEZ

Universidad Nacional de San Juan (UNSJ), San Juan, Argentina  
akurban@unsj.edu.ar

MARIO CÚNSULO GRASSO

Universidad Nacional de San Juan (UNSJ), San Juan, Argentina  
mcunsulo@unsj.edu.ar

### RESUMEN

En la planificación bioclimática de las ciudades y particularmente las ubicadas en ambientes áridos, los espacios verdes representan un potencial higrotérmico desaprovechado como mitigadores del clima urbano. El presente trabajo cuantifica el confort térmico de espacios verdes urbanos (EVU) de una ciudad del centro-oeste de Argentina localizada en la Diagonal Árida Sudamericana, a partir del índice UTCI. Este índice se calcula a partir de mediciones climáticas en 19 EVU, realizadas en el verano del año 2014. El valor de dicho índice en cada EVU se referencia con el calculado para su entorno urbano. El porcentaje de diferencia entre ellos permite agrupar el desempeño bioclimático de los EVU en cinco categorías, en función de su divergencia con las condiciones climáticas generales de la ciudad. Los resultados permiten individualizar los parámetros arbóreos mínimos que deben poseer los EVU, como objetivo de una planificación bioclimática del verde urbano en ciudades de ambientes áridos.

### Palabras clave

espacios verdes urbanos, clima, arquitectura bioclimática, planificación urbana.

### ABSTRACT

In the bioclimatic planning of cities and particularly those located in arid environments, green spaces represent a missed hygrothermal opportunity as mitigators of urban climate. This article quantifies the thermal comfort of urban green spaces (UGS) in a city in west-central Argentina located in the South American Arid Diagonal, based on the UTCI index. This index was calculated from climatic measurements taken in 19 UGS in the summer of 2014. In each UGS, the value of the UTCI index was compared with that calculated for the urban surroundings. The percentage difference between them was used to group the bioclimatic performance of UGS into five categories according to the divergence with the city's general climatic conditions. The results made it possible to identify the minimum tree parameters for UGS, as an objective of the bioclimatic planning of urban green areas in cities in arid environments.

### Keywords

urban green spaces, climate, bioclimatic architecture, urban planning.



## INTRODUCCIÓN

Durante el verano, en ciudades de clima árido, la alta radiación solar de los meses cálidos incrementa el desconfort higrotérmico, por lo que aumentan también los requisitos de enfriamiento en los espacios abiertos públicos y, en consecuencia, en los interiores edilicios. En los meses fríos, el recurso solar disminuye, volviéndose ineludible su mayor aprovechamiento.

En el conjunto de elementos del sistema urbano de ciudades de clima árido, la forestación es un recurso bioclimático accesible, a fin de proveer confort higrotérmico a la población y como contribución al ahorro energético regional.

Efectivamente, la forestación urbana influye en la modificación del clima y en el consumo de energía en los edificios a través de: a) sombreado: reduce la cantidad de energía radiante absorbida y almacenada por las superficies construidas; b) evapotranspiración: convierte el agua de las plantas en vapor, enfriando de esta forma el aire; y c) reducción de la velocidad del viento: disminuye, a su vez, la infiltración de aire exterior, la efectividad de la ventilación y el enfriamiento convectivo de las superficies edilicias (Simpson, 1998; 2002).

Los árboles pueden afectar el uso de energía en los edificios. En ese sentido, la sombra densa sobre el suelo y las edificaciones pueden reducir sustancialmente los costos de enfriamiento de verano, así como proporcionar menores temperaturas de aire en las viviendas y edificios en general, sin sistemas mecánicos de enfriamiento (Heisler, 1986).

En concreto, la provincia de San Juan está localizada en la zona centro-oeste de la Argentina, sobre la Diagonal Árida Sudamericana<sup>1</sup>. El Área Metropolitana de San Juan está ubicada a 31° 32' de latitud sur y 68° 31' de longitud oeste. Concentra el 67% de la población de la provincia en el 0,14% de su territorio.

San Juan posee uno de los climas más rigurosos de las zonas áridas sudamericanas: ocupa el primer lugar por su índice de continentalidad (40,5), sus temperaturas promedio máximas anuales (26,2°C) y sus temperaturas mínimas anuales (10,2°C). Se ubica, asimismo, en el segundo lugar por los porcentajes de heliofanía relativa (71,8%) y en el tercer lugar por sus índices hídricos y de aridez (-53,8 y 0,102, respectivamente), por la precipitación anual (96 mm) y por la radiación solar (promedio anual 456,3 calxcm<sup>-2</sup>x día<sup>-1</sup>) (Kurbán, 2016).

En función de los parámetros citados, puede caracterizarse el clima de San Juan como: árido continental mesotermal

con elevadas oscilaciones diurnas y anuales de temperatura; fuerte radiación solar en verano y nubosidad moderada distribuida uniformemente a lo largo del año. Veranos calurosos con aire relativamente deshidratado e inviernos fríos con aire más húmedo. Régimen estival de precipitaciones. Viento prevalente del sector sur con ráfagas intensas asociadas con tempestades de polvo luego del viento local Zonda (tipo *foehn*).

Por lo anterior, en la provincia existe un importante potencial que, aprovechado bioclimáticamente, proveería confort higrotérmico a la población, mejorando la calidad del hábitat y disminuyendo la dependencia de energías convencionales en el acondicionamiento de espacios.

Si se diseñan las condiciones de los espacios abiertos públicos, procurando disminuir los efectos negativos del clima de la ciudad, ello redundará positivamente en dos aspectos: por un lado, la población contará con mejores condiciones para desarrollar actividades al aire libre sean éstas circulatorias o de recreación y, por otro lado, los efectos de la rigurosidad del clima sobre los edificios se verán reducidos, dada la disminución de la carga térmica de los mismos.

Conocer el aporte que la forestación puede realizar al disminuir las condiciones de rigurosidad del clima urbano y, por tanto, al colaborar en la satisfacción de las necesidades de confort higrotérmico de la población, permite aprovechar un recurso natural y renovable. En caso contrario, dichas condiciones de confort son ofrecidas por equipos de acondicionamiento térmico que requieren energías provenientes de combustibles fósiles, el cual, a su vez, convierte a los asentamientos humanos en altamente insustentables (Kurbán *et al.*, 2015; 2016). Consecuentemente, ese mismo crecimiento insustentable pone en peligro los logros en salubridad y habitabilidad de las ciudades.

En general, los poderes de gestión involucrados en la construcción del hábitat no planifican bioclimáticamente las ciudades. Esta situación es más notoria en aquellas localizadas en la Diagonal Árida Sudamericana, debido al menor desarrollo científico del urbanismo bioclimático. Esto, sumado a las condiciones socioeconómicas de los países de la región con altos porcentajes de pobreza urbana, crea condiciones de desconfort para la mayoría de la población que no puede acceder a servicios de acondicionamiento climático convencional.

La "planificación bioclimática" puede definirse como un conjunto de estrategias tendientes a lograr el acondicionamiento higrotérmico de los espacios abiertos

---

[1] En Sudamérica se extiende una gran región árida que abarca la costa del Perú, una parte de Bolivia, la Puna, el noroeste argentino y la zona patagónica atlántica. Otras zonas semiáridas sudamericanas son el noreste brasileño y las costas del Mar del Caribe, las cuales poseen menor extensión territorial.

en la ciudad, disminuyendo la carga climática sobre los interiores edilicios. De tal modo, busca aprovechar la oferta climática, en este caso del árido y sus recursos, para responder a los requerimientos de confort higrotérmico de la población, atendiendo a la continua interrelación existente entre el hombre, su entorno y el impacto que su acción ejerce sobre el mismo.

En el conjunto de estas estrategias, la intervención en el sistema de espacios verdes es una de las más factibles de materializar, ya que puede realizarse tanto en urbanizaciones existentes como en asentamientos nuevos, procurando de manera sencilla y relativamente rápida el mejoramiento en las condiciones de vida de sus habitantes.

Entre los roles ecológicos complementarios de los espacios verdes, junto con los bioclimáticos de mitigación de la isla de calor, se destacan el aumento de la absorción de gases de invernadero, principalmente CO<sub>2</sub>, la liberación de oxígeno, el filtrado de partículas en suspensión y la absorción de ruido por parte del follaje de los árboles.

En este contexto, se hace necesario proponer lineamientos de planificación bioclimática de los espacios verdes públicos que modifiquen el clima urbano de ciudades localizadas en zonas áridas, como aporte al confort higrotérmico de la población y contribución con la sustentabilidad ambiental urbana.

## CLIMA URBANO DEL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JUAN

En las ciudades, los efectos de la antropización alteran el Balance de radiación, el Flujo natural y turbulencia del aire, el Balance del vapor de agua y aumenta la emisión de calor, de vapor de agua y de contaminantes. Esto genera modificaciones al clima macroescalar, originando lo que se denomina "clima urbano", cuyo principal fenómeno lo constituye la "isla de calor urbana", que posee directa incidencia en la calidad de vida de sus habitantes, principalmente en zonas áridas (Oke, 2006).

La isla de calor urbana puede definirse como el calentamiento relativo de la ciudad comparado con las condiciones pre-urbanas o no urbanas, o de otra manera, como las diferencias entre la temperatura urbana y la rural (Mazzeo, 1984). Algunos autores (entre ellos, Garland, 2011), la consignan como oasis "invertido" ya que las temperaturas del aire y de las superficies son más cálidas que aquellas en sus entornos rurales. Stewart y Oke (2012),

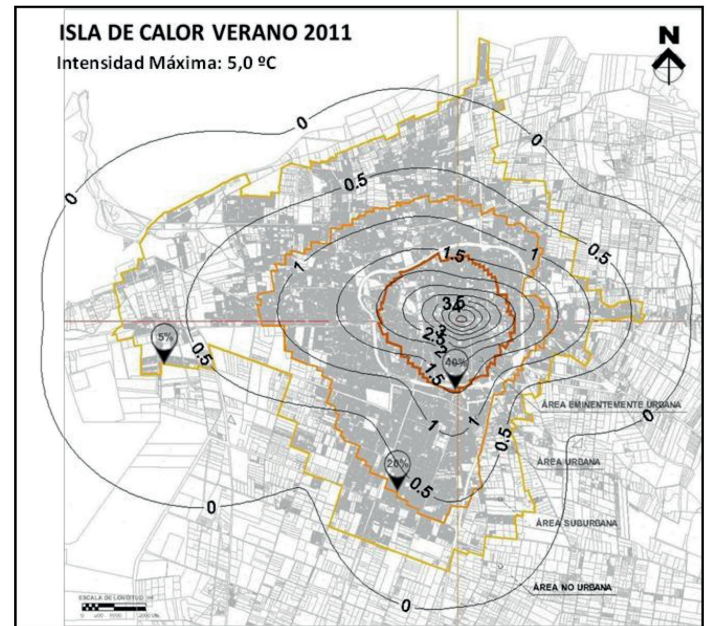


Figura 1. Isla de calor verano del AMSJ, obtenida con procesamiento de imágenes satelitales en 2011. Fuente: Cúnsulo et al. (2013:4).

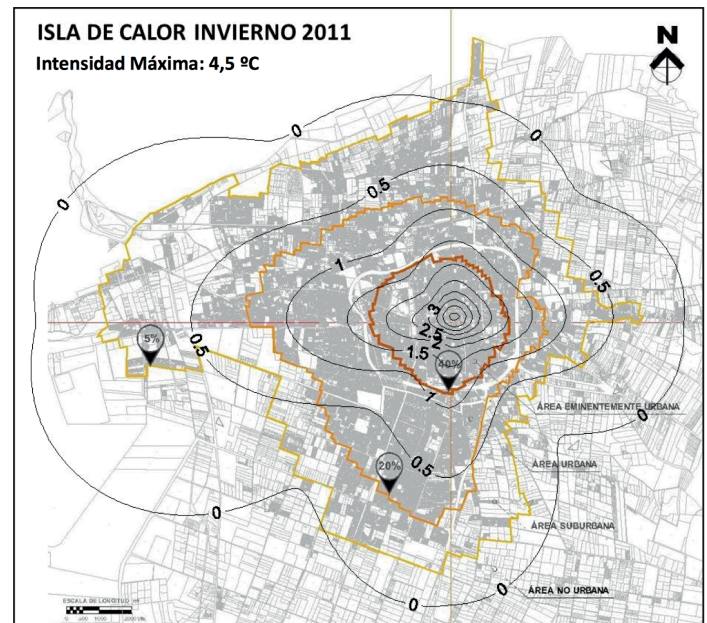


Figura 2. Isla de calor invierno del AMSJ, obtenida con procesamiento de imágenes satelitales en 2011. Fuente: Cúnsulo et al. (2013:5).

[2] Stewart y Oke definieron zonas urbanas homogéneas a las que denominaron "local climate zones", en relación al uso del suelo y las características edilicias y arbóreas.

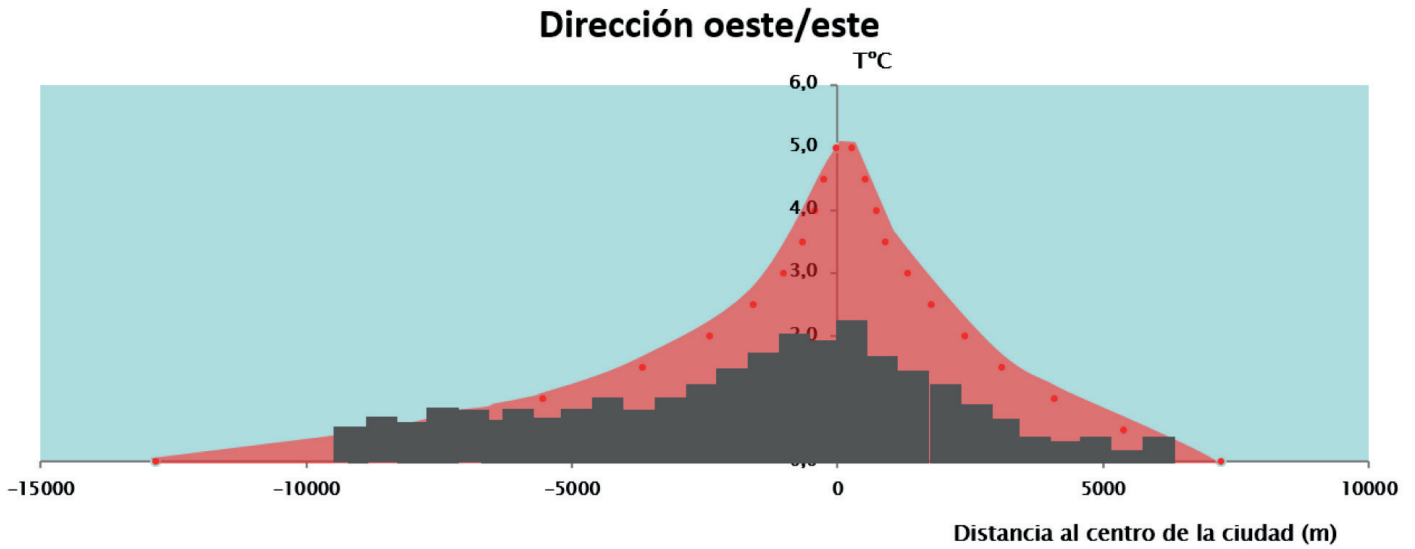


Figura 3. Perfil de la isla de calor del AMSJ, verano 2011. Dirección Este-Oeste. Fuente: Cúnsulo et al. (2013).

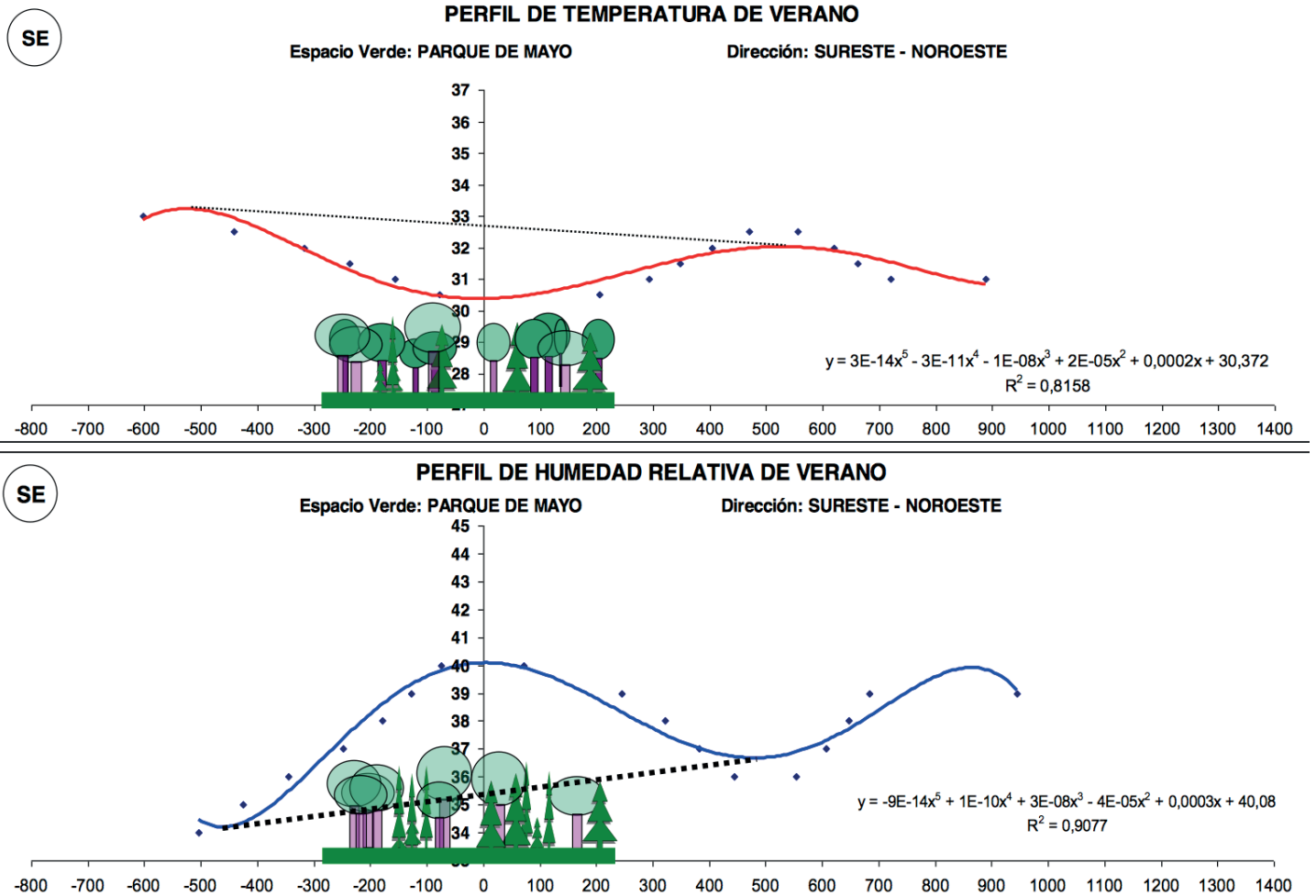


Figura 4. Perfil SE-NO de temperatura y humedad relativa en el Parque de Mayo



por su parte, identifican la isla de calor como la diferencia de temperatura entre dos zonas climáticas diferentes (LCZ)<sup>2</sup>, caracterizadas cada una por presentar uniformidad en su cobertura de suelo, estructura urbana y actividades humanas.

La isla de calor urbana del Área Metropolitana de San Juan, para el año 2011, fue calculada por Cúnsulo *et al.* (2013), a partir del procesamiento de imágenes satelitales. Los valores máximos fueron de 5°C para el verano y 4,5°C para el invierno. Ello demuestra la incidencia de las características de la ocupación urbana, particularmente en superficie (Factor de ocupación del suelo) y en volumen (Densidad volumétrica edilicia) (Figuras 1, 2 y 3).

## LOS ESPACIOS VERDES COMO MITIGADORES DEL CLIMA URBANO ÁRIDO

Para los efectos del presente trabajo, se define como “espacios verdes urbanos” (EVU) a aquellas zonas de uso público, predominantemente ocupadas con árboles, arbustos, plantas y césped, las cuales son utilizadas de forma habitual con propósitos urbanísticos, sociales, culturales, ecológicos, como también de recreación y esparcimiento, de ornamentación, protección, recuperación y rehabilitación del entorno.

El rol de los EVU del Área Metropolitana de San Juan (AMSJ) fue estudiado por Kurbán *et al.* (2007 a, b; 2010; 2013; 2015), midiendo la temperatura y humedad relativa *in situ* y por medio de imágenes satelitales. En la Figura 4 puede observarse gráficamente, mediante uno de los EVU estudiados (Parque de Mayo), el efecto térmico y húmedico representado por la línea a trazos roja y azul, respectivamente.

La cantidad de espacios verdes urbanos del AMSJ es de 508. No obstante ello, los EVU que aportan a la mitigación del clima urbano son solo 19 (Kurbán *et al.*, 2007 a; 2007 b). Estos modifican el clima urbano en radios que alcanzan como máximo aproximadamente 700m, contados a partir del centro del EVU. La cobertura bioclimática de cada EVU, entendida ésta como la superficie abarcada por los efectos térmicos y húmedicos, se muestra en la Figura 5. Especialmente, dicha cobertura ocupa solo una mínima superficie del tejido urbano: la cobertura térmica es del 6,92% y la húmedica del 5,55% (Kurbán *et al.*, 2010).

Estudios posteriores (Kurbán y Cúnsulo, 2015) demuestran que el efecto bioclimático de los EVU disminuye del centro urbano a la periferia, es decir, varía en función de la densidad de edificación del área en la que se localiza. Por tanto, es mayor en las áreas más edificadas y con mayor altura edilicia. En este efecto mitigador cobra mayor importancia la superficie de forestación que la volumetría arbórea. Lo anterior significa que la cantidad de ejemplares distribuidos en los espacios verdes, incide más que la altura de cada uno de ellos, de manera que el efecto higrotérmico está fuertemente asociado a la isla de calor de la ciudad.

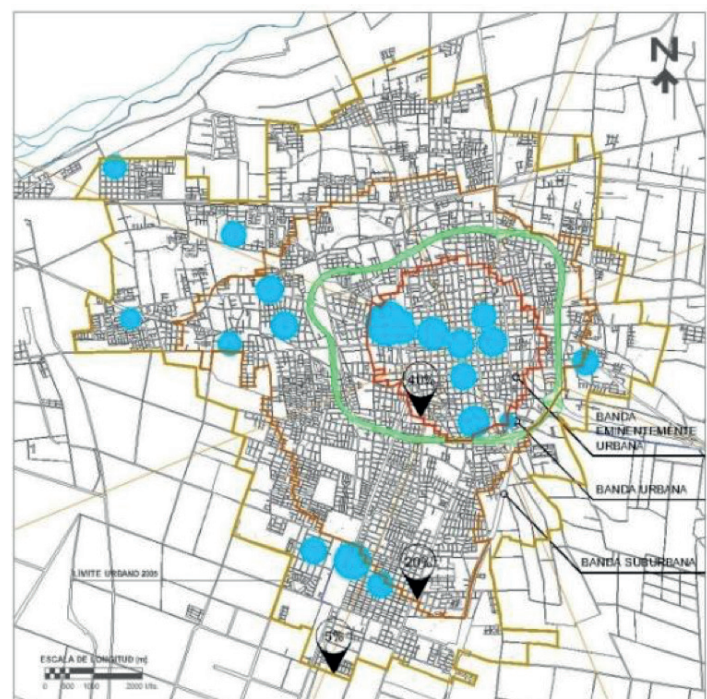
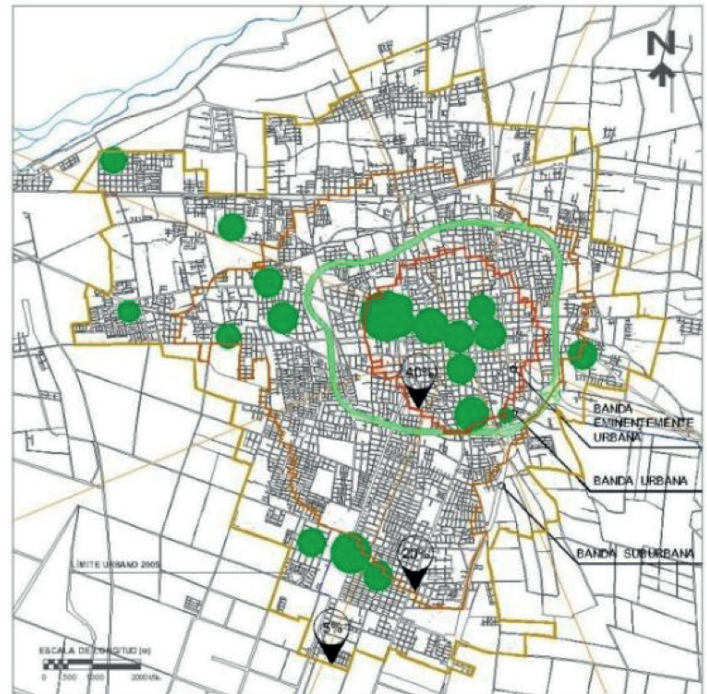


Figura 5. Cobertura térmica y húmedica del AMSJ.  
Fuente: Kurbán *et al.* (2010:10).

## CONFORT TÉRMICO EN LOS EVU DEL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JUAN.

Reconocida la influencia de los EVU estudiados en la mitigación del clima urbano árido, se hace necesaria la identificación de los parámetros arbóreos que caracterizan dichos espacios verdes, a fin de sistematizar su diseño para incorporarlo a la planificación bioclimática de la ciudad. Para ello se categoriza el desempeño bioclimático de cada EVU, en función del confort térmico calculado para cada uno de ellos.

El "confort térmico" es concebido como la ausencia de malestar con el ambiente térmico (ASHRAE, 2014).

Para el estudio del confort en los EVU de la ciudad de San Juan, se aplica el índice racional UTCI (Universal Thermal Climatic Index) (Jendritzky, de Dear y Havenith, 2012) para espacios abiertos, basado en la valoración de la respuesta fisiológica de la persona. El UTCI define 10 escalas de estrés térmico, que abarcan desde el estrés por calor extremo al causado por mucho frío. La escala de valoración se presenta en la Tabla 1.

En el cálculo del UTCI intervienen las siguientes variables climáticas:

- Temperatura del aire (°C)
- Temperatura de globo (°C) / radiación solar global (W/m<sup>2</sup>)
- Velocidad de viento (m/s)
- Punto de rocío (°C) / humedad relativa (%)

### MEDICIONES CLIMÁTICAS EN LOS 19 EVU.

Para el cálculo del índice UTCI, los parámetros climáticos de los 19 EVU se obtuvieron durante el mes diciembre de 2014 con horario central a las 12:00 HSV, correspondiente a las 13:30 HOA, con cielo despejado e índice de claridad =  $K_t \approx 0,75$ .

El instrumental utilizado fue:

- 1 medidor de índice de calor WBGR - Modelo: WBGT-2010SD ISO-9001, CE, IEC 1010. Marca Lutron. Con tarjeta de memoria.
- 1 anemómetro - Modelo: LM-81AM - Marca Lutron ISO-9001, CE, IEC 1010 - Display LCD 8mm.
- 3 estaciones meteorológicas de control.

De acuerdo con su tamaño y geometría, en cada EVU, se registraron de 9 a 26 puntos de medición. Los registros se efectuaron a una altura de 2,0m por sobre el nivel del suelo. En cada caso se hizo constar la particularidad de la superficie de cada punto de medición (césped, tierra, solado).

RANGOS DE UTCI (°C)	CATEGORÍA DE ESTRÉS
sobre +46	ESTRÉS TÉRMICO EXTREMO
+38 a +46	ESTRÉS TÉRMICO MUY SEVERO
+32 a +38	ESTRÉS TÉRMICO SEVERO
+26 a +32	ESTRÉS TÉRMICO MODERADO
+9 a +26	SIN ESTRÉS TÉRMICO
+9 a 0	ESTRÉS TÉRMICO POR FRÍO LEVE
0 a -13	ESTRÉS TÉRMICO POR FRÍO MODERADO
-13 a -27	ESTRÉS TÉRMICO POR FRÍO FUERTE
-27 a -40	ESTRÉS TÉRMICO POR FRÍO MUY FUERTE
Debajo de -40	ESTRÉS TÉRMICO POR FRÍO EXTREMO

Tabla 1. Categorías de estrés térmico según el índice UTCI. Fuente: Jendritzky, de Dear y Havenith (2012).

Simultáneamente a la toma de datos, se configuraron tres estaciones meteorológicas ubicadas a una distancia no mayor de 1.500m de cada EVU, para medir en intervalos de 60 segundos. Esto permitió el traslado de los valores registrados en cada punto de los EVU, a la hora 13:30HOA, que corresponde a las 12:00HSV. Para cada día de medición, las estaciones meteorológicas de control fueron:

- Día 11/12/2014: Estación Meteorológica INEAA
- Día 17/12/2014: Estación Meteorológica Rivadavia y Capital
- Día 18/12/2014: Estación Meteorológica INEAA
- Día 19/12/2014: Estación Meteorológica Capital y Estación Meteorológica INEAA

### MÉTODO DE TRASLADO DE VALORES CLIMÁTICOS.

Para que estadísticamente los valores obtenidos resultaran comparables entre sí, se realizaron dos tipos de ajustes: horario y diario. El primero, asumiendo todas las mediciones realizadas en los EVU a la misma hora (12:00 HSV, correspondiente a las 13:30HOA) y el segundo, considerando que se efectuaron el mismo día. Con ese fin, se utilizaron los registros minuto a minuto de tres estaciones meteorológicas de control, seleccionadas en función de la localización del espacio verde. Así, se ejecutaron traslados de los registros al mediodía solar y se ponderaron de acuerdo con el valor medio obtenido de cada día de medición.

a) Temperatura del bulbo seco trasladada (TT)

El valor en el EVU a la hora que correspondiere (hora n), se calcula como:

$$TT_{EVU \text{ MS}} = T_{EMC \text{ MS}} / T_{EMC \text{ hora } n} * T_{EVU \text{ hora } n}$$



Siendo:

$TT_{EVU \text{ trasladada MS}}$  = Temperatura medida en el EVU trasladada al mediodía solar.

$T_{EMC \text{ MS}}$  = Temperatura de estación meteorológica de control al mediodía solar (13:30HSA).

$T_{EMC \text{ hora n}}$  = Temperatura en estación meteorológica de control a una hora n determinada

$T_{EVU \text{ hora n}}$  = Temperatura medida en el EVU a una hora n determinada

B) Temperatura de globo negra trasladada (TGT)

b1) Correlación temperatura bulbo seco – temperatura de globo.

El valor en el EVU a la hora que correspondiere (hora n) se calcula a partir de la correlación Temperatura del aire – Temperatura de globo. Esta se obtiene del archivo de datos de las mediciones minuto a minuto del medidor WBGT, correlacionando estadísticamente ambas temperaturas a partir de la línea de tendencia de la nube de puntos. El coeficiente de determinación  $R^2$ , se calcula con la cuantía de error fijo de 1. Se ejemplifica con el EVU Plaza Villa Obrera (Figura 6). La ecuación en este caso resulta:

$$TG = 0,943 T + 2,8629 \quad (1)$$

$$R^2 = 0,8216$$

b2) Cálculo temperatura de globo trasladada.

Con las ecuaciones de correlación (ej. Ecuación 1) y la temperatura de bulbo seco trasladada (TT), se calcula la temperatura de globo. Siguiendo el mismo ejemplo anterior, la ecuación queda:

$$TGT = 0,943 TT + 2,8629$$

Humedad relativa trasladada (HRT).

El valor en el EVU a la hora que correspondiere (hora n), se calcula como:

$$HRT_{EVU \text{ MS}} = HR_{EMC \text{ MS}} / HR_{EMC \text{ hora n}} * HR_{EVU \text{ hora n}}$$

Siendo:

$HRT_{EVU \text{ trasladada MS}}$  = humedad relativa medida en EVU trasladada al mediodía solar.

$HR_{EMC \text{ MS}}$  = humedad relativa de estación meteorológica de control al mediodía solar (13:30HSA).

$HR_{EMC \text{ hora n}}$  = humedad relativa en estación meteorológica de control a una hora n determinada

$HR_{EVU \text{ hora n}}$  = humedad relativa medida en el EVU a una hora n determinada

## PONDERACIÓN DE VALORES TRASLADADOS, SEGÚN DÍA DE MEDICIÓN.

En aras de que estadísticamente los valores medidos trasladados al mediodía solar resultaran comparables entre sí para los diferentes días de medición, se los ponderó según el porcentaje de diferencia que cada variable tenía con dicho valor medio. A los nuevos valores se los denominó

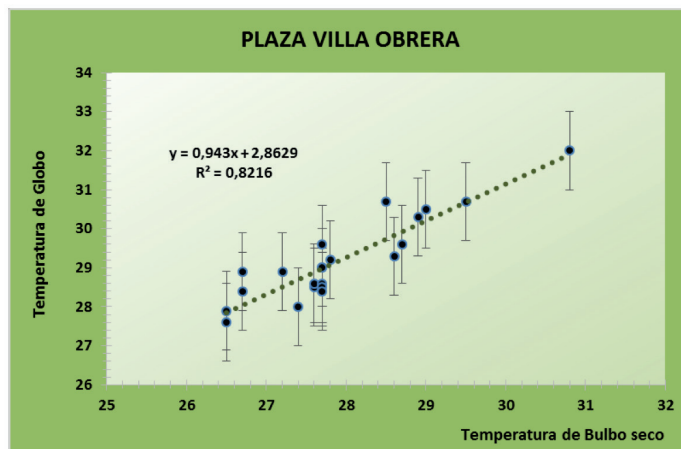


Figura 6. Correlación temperatura bulbo seco-temperatura de globo. Plaza Vª Obrera. Fuente: Elaboración de los autores.

DIA	EM	T	HR	RS <sub>g</sub>	VIENTO	
		(°C)	(%)	(W/m <sup>2</sup> )	(Km/h)	(m/s)
11/12/2014	Capital	31,8	45	967	6,4	1,8
17/12/2014	Rivadavia	31,2	35	1007	0	0
	Capital	30,5	45	980	4,8	1,3
18/12/2014	INEAA	34,4	32	953	6,4	1,8
19/12/2014	Capital	39,5	26,1	1001	4,8	1,3
	INEAA	41,2	12	1001	4,8	1,3
PROMEDIOS		34,8	32,5	985	4,5	1,3

Tabla 2. Registros y promedios de variables climáticas a las 12HSV en las estaciones meteorológicas de control. Fuente: Elaboración de los autores.

EM	% DE DIFERENCIA RESPECTO AL PROMEDIO		
	T	HR	RS <sub>g</sub>
Capital	8,53	-29,43	2
Rivadavia	10,26	-0,67	-2
Capital	12,27	-29,43	0
INEAA	1,05	7,96	3
Capital	-13,61	24,93	-2
INEAA	-18,50	65,48	-2

Tabla 3. Porcentajes diferencia variables climáticas EM control, en relación con promedios respectivos. Fuente: Elaboración de los autores.

“trasladados” y “ponderados”. En la Tabla 2 se muestran los valores de temperatura, humedad relativa, radiación solar global y vientos, registrados a la hora 12HSV, todos los días de medición, en las tres estaciones meteorológicas de control, y los respectivos promedios.

Según los valores medios, los porcentajes de diferencia respectivos resultan (Tabla 3):

**CÁLCULO DEL ÍNDICE UTCI**

Nº	EVU	T	TG	VIENTO	HR	UTCI	
		(°C)	(°C)	(m/seg)	(%)	RANGO	PERCEPCIÓN
1	Parque de Mayo	32,0	34,4	0,56	23,8	32,2	E.T.S.
2	Plaza España	32,0	34,4	0,42	23,6	31,9	E.T.M.
3	Plaza San Martín	32,0	34,4	1,31	23,7	32,8	ESTRÉS TÉRMICO SEVERO
4	Plaza Vº Obrera	32,6	35,1	0,74	22,9	33,7	
5	Plaza Bº Camus	31,8	34,2	0,77	24,2	32,2	
6	Plaza Bº San Roque	32,7	35,1	0,60	22,7	32,9	
7	Plaza Huazihul	32,2	34,6	0,60	23,4	32,4	
8	Plaza S. M. del Carril	30,8	33,0	0,93	22,3	31,0	ESTRÉS TÉRMICO MODERADO
9	Plaza Belgrano	31,2	33,5	0,96	22,4	31,5	
10	Plaza Laprida	33,9	36,5	0,52	21,7	34,2	ESTRÉS TÉRMICO SEVERO
11	Plaza 25 de Mayo	34,5	37,2	0,98	20,9	35,4	
12	Plaza Aberastain	35,5	38,5	0,93	20,3	36,7	
13	Plaza G. Funes	34,3	37,0	0,59	22,2	34,8	
14	Plaza H. Yrigoyen	34,2	36,9	0,69	21,9	34,8	ESTRÉS TÁERMICO MUY SEVERO
15	Plaza San Damián	41,2	45,0	0,99	21,5	44,0	
16	Parque Rawson	42,4	46,4	1,09	19,3	45,4	
17	Plaza Vº Krause	43,6	47,8	1,00	17,3	46,4	E.T. EXTREMO
18	Plaza Acceso Sur	40,0	43,7	0,26	9,5	39,5	E.T.M.S.
19	Plaza A. Brown	39,1	42,7	0,08	10,7	38,0	E.T.S.

Tabla 4. Índice UTCI calculado para cada EVU. Fuente: Elaboración de los autores.

Nº	EVU	UTCI (°C)		DIFERENCIA UTCI EVU/ENTORNO	
		EVU	Entorno Urbano	Valor absoluto	%
1	Parque de Mayo	32,2	46,9	14,7	31,3
2	Plaza España	31,9		15	32,0
3	Plaza San Martín	32,8		14,1	30,1
4	Plaza Vº Obrera	33,7		13,2	28,1
5	Plaza San Roque	32,2		14,7	31,3
6	Plaza Bº Camus	32,9		14	29,9
7	Plaza Bº Huaziul	32,4		14,5	30,9
8	Plaza S. Mº Del Carril	31		15,9	33,9
9	Plaza M. Belgrano	31,5		15,4	32,8
10	Plaza Laprida	34,2		12,7	27,1
11	Plaza 25 De Mayo	35,4		11,5	24,5
12	Plaza Aberastain	36,7		10,2	21,7
13	Plaza Gertrudis Funes	34,8		12,1	25,8
14	Plaza H. Yrigoyen	34,8		12,1	25,8
15	Plaza Bº San Damián	44		2,9	6,2
16	Parque Rawson	45,4		1,5	3,2
17	Plaza Vº Krause	46,4		0,5	1,1
18	Plaza Acceso Sur	39,5		7,4	15,8
19	Plaza A. Brown	38		8,9	19,0

Tabla 5. Relación entre índices UTCI de cada EVU y UTCI del entorno urbano al mediodía solar. Fuente: Elaboración de los autores.

1º CATEGORÍA		2º CATEGORÍA		3º CATEGORÍA		4º CATEGORÍA		5º CATEGORÍA	
% Δ	EVU	% Δ	EVU	% Δ	EVU	% Δ	EVU	% Δ	EVU
-33,9	Plaza S. M. del Carril	-27,1	Plaza Laprida	-19,0	Plaza Almte.			-6,2	Plaza Bº San
-32,8	Plaza Belgrano	-25,8	Plaza G. Funes	-15,8	Plaza Acceso Sur			-3,2	Parque Rawson
-32,0	Plaza España	-25,8	Plaza H. Yrigoyen					-1,1	Plaza Vº Krause
-31,3	Parque Mayo	-24,5	Plaza 25 Mayo						
-31,3	Plaza Bº Camus	-21,7	Plaza A. Aberastai						
-30,9	Plaza Huazihul								
-30,1	Plaza S. Martín								
-29,9	Plaza S. Roque								
-28,1	Plaza Vº Obrera								

Tabla 6. Categorización de los EVU en función de los porcentajes de diferencia con el UTCI del entorno urbano. Fuente: Elaboración de los autores.

Las fórmulas aplicadas a cada valor son las siguientes:

- $TT \text{ y } P = TT \cdot (1 + \text{porcentaje fijo } T/100)$   
Siendo:  
TTyP = a la temperatura trasladada y ponderada  
Porcentaje fijo de T = variación del registro de temperatura de la EM en relación al promedio de los días de medición
- $HRT \text{ y } P = HRT \cdot (1 + \text{porcentaje fijo } HR/100)$   
Siendo:  
HRTyP = a la humedad relativa trasladada y ponderada  
Porcentaje fijo de HR = variación del registro de humedad relativa de la EM en relación al promedio de los días de medición
- TGT y P = correlación TT con TG (de fórmula 1)

### CÁLCULO DEL ÍNDICE UTCI PARA LOS 19 EVU.

Los respectivos índices UTCI por cada EVU, calculados con los valores climáticos trasladados y ponderados se presentan en la Tabla 4.

El valor del índice UTCI de cada EVU se referencia con los calculados para el entorno urbano. Se obtiene así el porcentaje de diferencia entre ellos, a fin de categorizarlos en función de su mayor divergencia con las condiciones climáticas de sus respectivos entornos urbanos generales. La menor diferencia entre el UTCI

del entorno urbano y el UTCI de cada EVU es de 1,1%. La mayor diferencia, es de 33,90% (Tabla 5).

## RESULTADOS.

La capacidad bioclimática de cada EVU de influir en la disminución de la rigurosidad del clima urbano árido del AMSJ, se manifiesta en la mayor o menor diferencia entre el confort térmico que se experimenta en cada uno de ellos, en relación con el percibido en su entorno urbano inmediato y mediato.

Aplicado el método estadístico de los rangos, los EVU pueden agruparse en las siguientes 5 categorías:

- 1º grupo: hasta 7,66% de diferencia entre el UTCI del EVU y el del entorno urbano.
- 2º grupo: de 7,66% a 14,22% de diferencia entre el UTCI del EVU y el del entorno urbano.
- 3º grupo: de 14,22 a 20,78% de diferencia entre el UTCI del EVU y el del entorno urbano.
- 4º grupo: de 20,78 a 27,34% de diferencia entre el UTCI del EVU y el del entorno urbano.
- 5º grupo: de 27,34% a 33,9% de diferencia entre el UTCI del EVU y el del entorno urbano.

La Tabla 6 muestra las cinco categorías, ordenadas en orden decreciente, según el porcentaje de diferencia entre UTCI del espacio verde y el de su entorno. La 4ª categoría no presenta espacios verdes que la representen.

A partir de las Tablas 4, 5 y 6 se deduce que los EVU de índice de confort más extremo ("Estrés térmico extremo" y "Estrés térmico muy severo") se ubican en el 5° grupo, con porcentajes de diferencia con su entorno menores al 6%. Una excepción la constituye la Plaza Acceso Sur que, no obstante presentar Estrés Térmico Muy Severo, posee el 15,8% de diferencia con el entorno y se ubica en el 3<sup>er</sup> grupo.

Dado lo anterior, se asume el límite del rango 14% como el valor piso de los que pueden considerarse espacios verdes con adecuados parámetros arbóreos para proporcionar condiciones de confort mínimos a su entorno urbano. Es decir, el límite de los EVU con buena respuesta de confort térmico se hallaría en los que conforman el 3<sup>er</sup> grupo.

De acuerdo con relevamientos catastrales, satelitales e *in situ*, los espacios verdes que pertenecen al 3<sup>er</sup> grupo están caracterizados por los parámetros arbóreos que se presentan a continuación, a partir de los cuales es posible identificar los EVU de desempeño bioclimático mínimo:

- Superficie mínima: 8.000m<sup>2</sup>
- Impronta arbórea igual o mayor a 15%
- Impronta prado: 70%
- Impronta solados igual o menor a menor 30%
- Altura arbórea promedio: 14m
- Densidad volumétrica arbórea: 23.000m<sup>3</sup>/Ha
- Permeabilidad solarimétrica verano: 12%
- Bloqueo solar verano: 88%

## DISCUSIÓN.

La selección del UTCI como índice de confort para espacios abiertos forestados se adopta luego de correlacionar sus resultados con los obtenidos en la aplicación de otros índices de confort, los que no reflejan las reales condiciones percibidas en los EVU.

Además, se asume como el más adecuado al haber sido resultado de la revisión encomendada por la Biometeorological International Society, con el objetivo de integrar la diversidad de índices de confort existentes. Un requisito fundamental de dicha revisión fue que el nuevo índice tuviera siempre el mismo significado termofisiológico, con independencia de la combinación de los valores intervinientes, a efectos de generalizar sus resultados.

Lo anterior se traduce en una adecuada ponderación de sus componentes, lo cual fue comprobado en el estudio de correlación citado anteriormente.

## CONCLUSIONES.

Este estudio permite confirmar que no todos los espacios verdes urbanos son bioclimáticamente eficientes, aún algunos de aquellos que apriorísticamente se consideran eficientes según otros criterios.

Calculado el índice de confort UTCI de cada EVU y del entorno urbano de los mismos, la diferencia porcentual entre ambos valores es empleada para agrupar en cinco categorías los espacios verdes en su rol bioclimático.

La primera categoría, de mayor eficiencia bioclimática, presenta más de 27% de diferencia entre el valor del UTCI en el entorno respecto al experimentado en el espacio verde. La segunda categoría, entre 21% y 27%. La tercera, entre 14% y 21%. No hay EVU en la cuarta categoría. Y, en la quinta, la diferencia es menor al 8%.

El límite del confort se ubica en una diferencia mínima de 14% con su entorno urbano. De los 19 EVU analizados, 16 quedan dentro de los que bioclimáticamente aportan a su entorno urbano. De ellos, 9 poseen un buen desempeño, 5 un desempeño medio y dos un desempeño mínimo.

Los parámetros arbóreos que caracterizan dichos EVU de desempeño mínimo, se adoptan como el límite inferior necesario, por debajo del cual el espacio verde no contribuye mayormente a la mitigación del clima urbano árido.

## TRANSFERENCIAS.

Obtener resultados basados en estudios científicos que puedan ser incorporados a una normativa bioclimática urbana del árido, comporta desarrollos de gran interés e importancia tanto en el campo académico como en la aplicación fáctica en las ciudades.

La sistematización de estos resultados, incluidas otras estrategias<sup>3</sup>, conforma un conjunto de Indicadores Bioclimáticos del Verde Urbano Árido, que se transferirá a la Subsecretaría de Planificación Territorial del Ministerio de Planificación e Infraestructura del gobierno de San Juan, para ser incorporado al Código de edificación de la Provincia, cuya autoridad de aplicación es la Dirección de Planeamiento y Desarrollo Urbano.

Los resultados serán también transferidos a la Subsecretaría de Ambiente de la provincia a través del Consejo

[3] Resultados de la Tesis Doctoral en Arquitectura y Urbanismo: "Verde urbano. Contribución bioclimática a la sustentabilidad de ambientes áridos". Autora Mgtr. Arq. Alejandra Kurbán. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, UNSJ. Defendida el día 5 de diciembre de 2016.



Provincial del Arbolado, del cual la autora forma parte en representación de la FAUD-UNSJ.

Los logros alcanzados podrán aplicarse a otras ciudades localizadas en la Diagonal Árida Sudamericana, de similares condiciones urbanísticas.

La transferencia académica se realizará en primera instancia a las materias de grado y posgrado de las facultades de Arquitectura, Urbanismo y Diseño y de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan<sup>4</sup>.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE. American Society of Heating. *Refrigerating and Air Conditioning Engineers* [en línea], 2014. [Consultado 20 noviembre 2016]. Disponible en: <https://www.ashrae.org>

CÚNSULO, Mario; KURBÁN, Alejandra; PAPPARELLI, Alberto y MONTILLA, Eduardo. Procesamiento de datos térmicos satelitales para la obtención de la Isla de Calor Urbana. *AVERMA*, 2013, n° 1, pp. 11.11 - 11.18.

GARLAND, Lisa. *Heat islands*. London: Earthscan, 2011.

HEISLER, Gordon. Effects of individual trees on the solar radiation climate of small buildings. *Urban Ecology*, 1986, n° 9, pp. 337-359.

JENDRITZKY, Gerd; DE DEAR, Richard y HAVENITH, George. UTCI--Why another thermal index? *International Journal of Biometeorology*, 2012, n° 56, pp. 421-428.

KURBÁN, Alejandra. *Cuantificación del confort bioclimático de los espacios verdes urbanos*. Capítulo II de Tesis de Doctorado en Arquitectura y Urbanismo: Verde Urbano. Contribución Bioclimática a la sustentabilidad de Ambientes Áridos. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de San Juan, 2016.

KURBÁN, Alejandra y CÚNSULO, Mario. Estudio del efecto térmico de espacios verdes urbanos del árido con sensores remotos. *Hábitat Sustentable*, 2015, vol. 5, n° 2, pp. 42 - 55.

KURBÁN, Alejandra; CÚNSULO, Mario; ÁLVAREZ, Analia; MONTILLA, Eduardo y ORTEGA, Andrés. The role of Bioclimatic Architecture In the reduction of the emission of CO<sub>2</sub> in arid environments. *Environmental Science: An Indian Journal*, 2015, vol. 11, n° 6, pp. 171-178.

KURBÁN, Alejandra; CÚNSULO, Mario; ÁLVAREZ, Analia; MONTILLA, Eduardo y ORTEGA, Andrés. *Bioclimatic architecture and energy savings of the urban housing in arid environments*. Proceedings del SBE16 Brazil & Portugal Sustainable Urban Communities towards a Nearly Zero Impact Built Environment.

Victoria, Brasil, 7 al 9 septiembre de 2016.

KURBÁN, Alejandra; CÚNSULO, Mario; PAPPARELLI, Alberto; MONTILLA, Eduardo; ORTEGA, Andrés; ROCA, Gabriela y ÁLVAREZ, Analia. Aplicación de sensores remotos en el estudio térmico de espacios verdes urbanos del árido. *AVERMA*, 2013, n° 1, pp. 11.71 - 11.78.

KURBÁN, Alejandra; PAPPARELLI, Alberto; CÚNSULO, Mario; MONTILLA, Eduardo; ORTEGA, Andrés; ROCA, Gabriela y RIPOLL, Verónica. Espacios verdes forestados y población en clima urbano árido. *AVERMA*, 2010, n° 14, pp. 11.85 - 11.92.

KURBÁN, Alejandra; PAPPARELLI, Alberto; CÚNSULO, Mario; MONTILLA, Eduardo y RÍOS, Eliana. Espacios verdes y temperatura urbana en ecosistemas áridos. *AVERMA*, 2007a, n°11, pp. 11.09 - 11.15.

KURBÁN, Alejandra; PAPPARELLI, Alberto; CÚNSULO, Mario; MONTILLA, Eduardo y RÍOS, Eliana. Espacios verdes y variación de la humedad relativa en entornos urbanos áridos. En: *XXX Congreso de ASADES (San Luis, 12-16 de noviembre de 2007)*. Laboratorio de energía solar, Universidad Nacional de San Luis, 2007b, pp. 11.01 - 11.06.

MAZZEO, Nicolás. Aplicaciones del diagnóstico climático a problemas relacionados con el urbanismo. *Apuntes de cátedra*, 1984, UBA. Buenos Aires.

OKE, Tim. Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 2006, n° 84, pp. 179-190.

SIMPSON, James. Improved estimates of tree-shade effects on residential energy use. *Energy and Buildings*, 2002, n° 34, pp. 1067-1076.

SIMPSON, James. Urban forest impacts on regional cooling and heating energy use: Sacramento County case study. *Journal Arboric*, 1998, vol. 4, n° 24, pp.201-214.

STEWART, Ian y OKE, Tim. Local Climate Zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2012, n° 93, pp.1879-1900.

---

[4] Los autores de este artículo son docentes de grado y posgrado de ambas instituciones de la UNSJ.



# INFLUENCIA DE LA MORFOLOGÍA URBANA SOBRE LA HABITABILIDAD TÉRMICA EXTERIOR EN UNA CIUDAD DE CLIMA ÁRIDO.

Artículo  
Recibido 06-12-2016  
Aceptado 21-06-2017

## INFLUENCE OF THE URBAN MORPHOLOGY OVER OUTDOOR THERMAL HABITABILITY IN A CITY WITH ARID CLIMATE.

MARÍA BELÉN SOSA CASTRO  
Consejo Nacional de Investigaciones  
Científicas y Técnicas (CONICET)-Instituto de Ambiente, Hábitat y  
Energía (INAHE), Mendoza, Argentina  
[msosa@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:msosa@mendoza-conicet.gob.ar)

ERICA NORMA CORREA CANTALOUBE  
Consejo Nacional de Investigaciones  
Científicas y Técnicas (CONICET)-Instituto de Ambiente, Hábitat y  
Energía (INAHE), Mendoza, Argentina  
[ecorrea@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:ecorrea@mendoza-conicet.gob.ar)

MARÍA ALICIA CANTÓN  
Consejo Nacional de Investigaciones  
Científicas y Técnicas (CONICET)-Instituto de Ambiente, Hábitat y  
Energía (INAHE), Mendoza, Argentina  
[macanton@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:macanton@mendoza-conicet.gob.ar)

### RESUMEN

El ambiente construido modifica, como se sabe, las variables climáticas que influyen en el balance energético del cuerpo humano, siendo el confort térmico uno de los factores que interviene en la habitabilidad del espacio. Este estudio analiza la interacción entre microclima y morfología urbana para determinar el grado de confort térmico de zonas de baja densidad en una ciudad de clima árido (Mendoza-Argentina). Para ello se seleccionaron, caracterizaron morfológicamente y forestalmente, y monitorearon micro-climáticamente siete canales viales urbanos (CVU) representativos insertos en diversas morfologías de tramas. El confort térmico se calculó mediante COMFA y las relaciones entre morfología y confort se cuantificaron a partir del índice Pearson. Los resultados revelan que el confort térmico en los CVU analizados varía entre un 70 y un 20%, manifestando que la combinación entre huella urbana, perfil y forestación determina la habitabilidad térmica. También se observa que, para una morfología de trama, los CVU muestran diferentes respuestas en cuanto a confort y enfriamiento nocturno. Ello ilustra, a su vez, cómo impactan las decisiones de diseño y planificación de los esquemas de urbanización al momento de definir qué estrategias priorizar en aras de alcanzar condiciones de habitabilidad térmica en ambientes urbanos de clima árido que contribuyan a su sustentabilidad.

### Palabras clave

morfología urbana, confort térmico, ciudad árida.

### ABSTRACT

It is known that the built environment modifies climatic variables that impacts on the human body energy balance. The thermal comfort is one of the factors that influence the outdoor habitability of the space. This study analyzes the interaction between micro-climate and urban morphology to determine the degree of thermal comfort of low-density areas in a city with arid climate (Mendoza-Argentina). For this purpose, seven representative urban canyons (UC) were morphologically and forestally characterized and micro-climatically monitored. The cases are inserted in different urban grid morphologies. The thermal comfort was calculated by COMFA, and the relationships between morphology and comfort were quantified using the Pearson index. The results show that the thermal comfort of the UC varies in a range between 70 to 20%. This shows that the combination between urban footprint, profile and forestation determines the thermal habitability. It is also observed that for same urban grid morphology, the UCs have different responses regarding outdoor comfort and night cooling. This highlights how the design and planning decisions of the urban schemes impacts for defining which strategies prioritize in order to achieve the sustainability of the built environment.

### Keywords

urban morphology, thermal comfort, arid city.

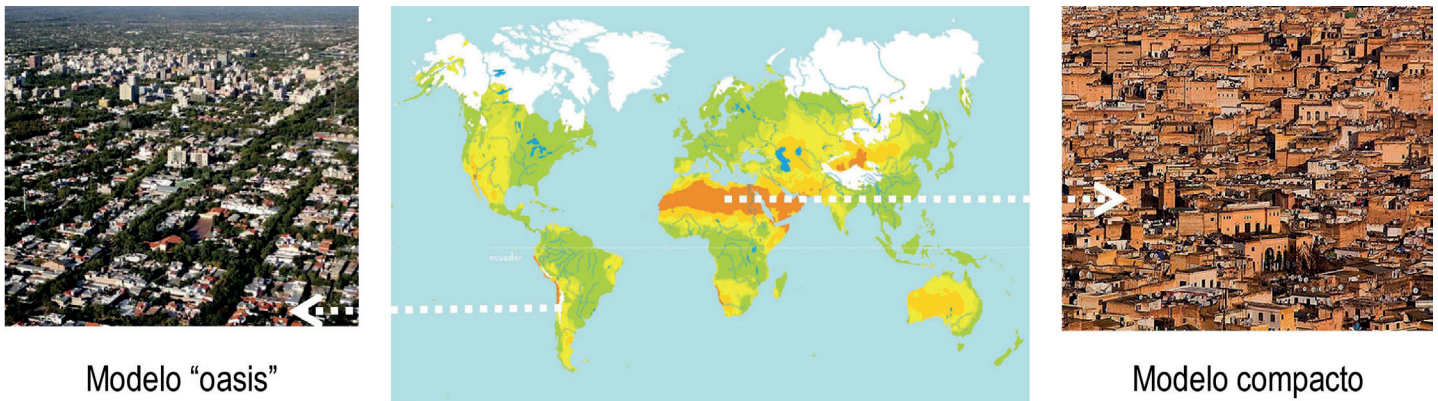


Figura 1. Mapa de zonas áridas, esquemas oasis y compacto. Fuente: Fotografías de Manuel Calleja y elaboración de autores.

## INTRODUCCIÓN

El desafío de alcanzar la sustentabilidad del ambiente construido involucra el estudio del clima urbano (Tumini y Pérez, 2015; Higuera, 2012). Es consabido que el ambiente construido modifica las variables climáticas que influyen en el balance energético del cuerpo humano (Oke, 2004; Correa, de Rosa y Lesino, 2008). Estas modificaciones se perciben tanto en los espacios interiores como en los exteriores de la ciudad, siendo el confort térmico de las personas, en espacios exteriores, uno de los factores que más influye en la habitabilidad de los espacios públicos de las ciudades (Taleghani *et al.*, 2014; Nikolopoulou y Lykoudis, 2006).

Los estudios de Givoni (1989) muestran cómo la cantidad e intensidad de actividades que el individuo realiza son afectadas por el nivel de incomodidad térmica experimentado cuando se expone a las condiciones climáticas en espacios abiertos. En este contexto, diversas investigaciones plantean el desafío de diseñar espacios exteriores confortables que fortalezcan su uso e interacción en las ciudades y que, al mismo tiempo, disminuyan los efectos negativos derivados del cambio de albedo, de factores morfológicos o de la desaparición de áreas verdes que puede producir la urbanización (Perini y Magliocco, 2014; Tumini, 2013; Tornero, Pérez y Gómez Lopera, 2006). En este sentido, hay que considerar que la modificación microclimática que genera la existencia y desarrollo de las ciudades afecta las temperaturas urbanas, junto a otros factores. El conjunto de modificaciones se agrupa bajo el fenómeno de “isla de calor” (ICU) (Oke, 1982). Los efectos de la ICU, en ciudades con altas temperaturas durante el periodo estival, condicionan la habitabilidad térmica de los espacios exteriores como interiores, aumentan el consumo de energía y deterioran la calidad del aire.

El presente estudio se desarrolla en el Área Metropolitana de Mendoza (AMM), situada en el centro-oeste de Argentina (32°53' S, 68°51' O, 750 m.s.n.m.) y cuyo clima es de tipo árido. Las ciudades desarrolladas en este clima presentan dos tipos de modelos urbanos: compacto y abierto. El modelo

compacto tiene un desarrollo urbano continuo, conformado por edificios altos y calles estrechas; el uso de forestación es inexistente o escaso. Por otro lado, el modelo abierto —como es el área de estudio— tiene calles anchas y construcciones relativamente bajas, enmarcadas por un entramado de árboles que le han otorgado la denominación internacional de “ciudad oasis” (Bórmida, 1984). El objetivo de ambos modelos urbanos se basa en acondicionar ambientalmente un sector de desierto para el desarrollo de las actividades humanas. La Figura 1 muestra imágenes de ambos modelos urbanos.

Estudios desarrollados en el AMM por Correa (2006) han determinado la existencia de una ICU con magnitudes de hasta 10.6°C y aumentos de hasta un 20% en el consumo energético para acondicionamiento térmico de las edificaciones durante el verano. Asimismo, y dentro del AMM, (Ruiz, Correa y Cantón, 2012) y Stocco, Cantón y Correa (2015) han abordado el impacto que genera la ICU sobre la habitabilidad térmica de los espacios exteriores. Los resultados obtenidos han determinado que existe una incomodidad térmica generalizada debido al calor en canales viales con diversas configuraciones de forestación y morfologías de plazas (46 al 62% de discomfort en el caso de canales viales).

Mejorar las condiciones de habitabilidad de los espacios exteriores, desde el punto de vista térmico, demanda considerar todas las variables que participan del balance de energía del ambiente construido. En las ciudades, los canales viales urbanos (CVU), plazas y parques dan forma a los espacios abiertos exteriores. Particularmente, los CVU cubren más de un cuarto del total del área urbana (Shashua-Bar y Hoffman, 2003; UN-Hábitat, 2013), por lo tanto, su morfología, materialidad, orientación y esquema de forestación, determinan en gran medida el clima urbano (Lin, Matzarakis y Hwang, 2010; Alchapar, Correa y Cantón, 2015; Ruiz *et al.*, 2015; Sosa, Correa y Cantón, 2017).

La morfología del espacio exterior, en ciudades de tipo compactas insertas en zonas áridas, es una variable abordada por numerosas investigaciones (Ratti, Raydan y Steemers,



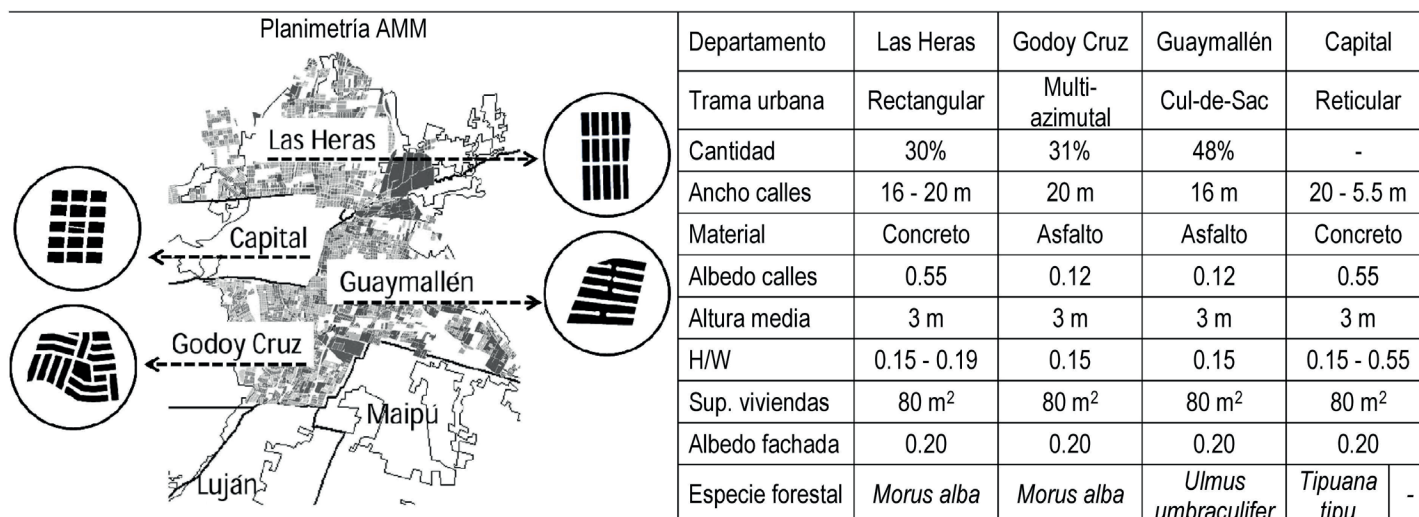


Figura 2. Valores de indicadores y descriptores de los 4 esquemas urbanos seleccionados. Fuente: Elaboración de los autores.

2003; Shashua-Bar y Hoffman, 2003; Ali Toudert y Mayer, 2006; Johansson, 2006; Lin, Matzarakis y Hwang, 2010), siendo la relación H/W (relación alto-ancho del canal vial) una variable morfológica que demuestra estar directamente relacionada al grado de confort alcanzado. Sin embargo, los trabajos que analizan en profundidad cuáles variables morfológicas se relacionan en mayor medida con el grado de habitabilidad térmica en ciudades áridas de tipo "oasis" no son tan numerosos.

Con este panorama, el presente trabajo persigue analizar la interacción entre los parámetros micro-climáticos y las variables morfológicas que intervienen en el confort térmico de los espacios urbanos residenciales de zonas áridas, para identificar las morfologías urbanas que mejoren el grado de habitabilidad térmica exterior durante el verano; estación considerada como más demandante para ciudades con este tipo de clima.

## METODOLOGÍA

### CASOS DE ESTUDIO. SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN

El proceso de selección de los casos de estudio está descrito, analizado y caracterizado de acuerdo a 3 escalas: 1. Macro-escala (departamento); 2. Meso-escala (trama urbana) y 3. Micro-escala (canal vial).

1. Macro-escala: Con el objetivo de delimitar el área de estudio, se seleccionaron los departamentos de mayor ocupación demográfica (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010). Este análisis muestra que los departamentos con mayor ocupación son los 3 que limitan con la capital de la provincia: Guaymallén (16%), Las Heras (12%) y Godoy Cruz (11%). De igual modo, la capital de la provincia (6%) se escogió por ser el departamento central

del AMM.

2. Meso-escala: Con el fin de caracterizar y cuantificar los tipos de tramas urbanas existentes dentro de los 3 departamentos seleccionados, se realizó un relevamiento de tipologías de tramas según morfologías de manzanas. Principalmente, se identificó 4 formas (damero, rectangular N-S y E-O e irregular) y, a partir de esa información, se designó 4 conjuntos urbanos (barrios) que son representativos dentro de cada departamento del AMM. Estos barrios, de uso residencial, difieren en cuanto a forma y orientación pero, al mismo tiempo, mantienen análogos aspectos morfológicos, constructivos y tecnológicos. Estas características facilitan la tarea de contrastar los CVU para determinar los mejores esquemas en términos de confort térmico exterior. Los resultados del relevamiento gráfico y las características de cada barrio se muestran en la Figura 2.
3. Micro-escala: Para seleccionar el sitio de monitoreo micro-climático, se buscó aquellos CVU que fueran representativos dentro de cada trama seleccionada. En la trama multi-azimutal, se seleccionó los 2 CVUs rectangulares que tienen leves cambios en su orientación, siendo el eje de mayor exposición E-O. En la trama Cul-de-Sac, se escogió 1 CVU con orientación E-O. En la trama rectangular, se optó por 2 CVUs con orientación N-S de distintos largos. Por último, en la trama reticular, se estableció el CVU que responde a la condición de atípica —compacta y sin forestación, caso 7— y también un CVU colindante típico —abierto y forestado, caso 6—. La Figura 3 muestra la ubicación de cada caso, dentro de las 4 tramas seleccionadas; como así también los valores de los descriptores e indicadores para caracterizar los 7 casos de estudio.

















Caso	1	2	3	4	5	6	7
Trama urbana	Racional		Multi-azimutal		Cul de Sac	Reticular	
Planimetría							
Largo (m)	128	192	226	255	145	116	112
Ancho (m)	20	20	16	16	20	20	5.5
Superficie CVU	2560	3840	3616	4080	2900	2320	616
Altura media (m)	3	3	3	3	3	3	3
H/W	0.15	0.15	0.18	0.18	0.15	0.15	0.54
Perfil							
Orientación (°)	N-S	N-S	E-O	E-O	E-O	E-O	E-O
Superficie construida (m <sup>2</sup> )	2492	3789	4809	5699	2945	3596	2326
Volumen construido (m <sup>3</sup> )	7476	11367	14427	17097	8835	10788	6978
Compacidad (Vol. Construido/Sup. CVU)	3	3	4	4	3	5	11
SVF	 0.38	 0.35	 0.57	 0.56	 0.57	 0.23	 0.84
Nº de árboles (u)	44	53	52	53	36	31	0

Figura 3. Casos de estudio y valores de descriptores e indicadores de caracterización. Fuente: Elaboración de los autores

Los indicadores de superficie y volumen construido fueron calculados considerando las edificaciones que dan frente a la calle monitoreada. El indicador SVF fue calculado a partir de imágenes hemisféricas capturadas con una cámara digital Nikon® CoolPix, equipada con un lente ojo de pez, y procesadas con el software Píxel de Cielo (Correa, Ruiz y Cantón, 2010). Este software obtiene el valor de SVF en condiciones de cielo despejado, con forestación urbana intensa y en ciudades con alta reflectividad, típica de regiones áridas, como es el caso de esta investigación.

### CONFORT TÉRMICO EXTERIOR. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE ESTIMACIÓN.

A nivel mundial existen varios modelos que sirven para conocer y calcular el grado de confort térmico exterior (PET, PMV, UTCI). De modo particular, los trabajos de Correa, Ruiz y Cantón 2010; Ruiz, Correa y Cantón, 2012; Ruiz y Correa, 2015) contrastan diferentes modelos de confort térmico para identificar cuál de ellos es el más adecuado para ser utilizado en ciudades forestadas de zonas áridas. En este sentido, los resultados de sus investigaciones han demostrado que

la Fórmula de Confort (COMFA) desarrollada por Brown y Gillespie (1995), posibilita una mayor diferenciación de las características urbanas y forestales, en adición a las climáticas consideradas por los demás índices. Este método es de tipo deductivo y considera las siguientes variables para su cálculo:

- Climáticas: radiación global, radiación difusa, altitud solar, velocidad de viento.
- Micro-climáticas: temperatura del aire, humedad relativa, temperatura superficial vertical, temperatura superficial horizontal.
- Humanas: tasa metabólica, aislamiento de la ropa, permeabilidad ropa, temperatura de la piel, emisividad y albedo de la piel, albedo de la ropa.
- Forestales: permeabilidad y rugosidad.

La Eq. 1 muestra la fórmula del balance de energía COMFA:

$$S = M + R_{\text{absorbida}} - \text{Conv} - \text{Evap} - \text{TR}_{\text{emitida (1)}}$$

Eq. (1)

Donde:

M: energía metabólica producida por el organismo;  $R_{\text{absorbida}}$ : radiación solar y terrestre absorbida; Conv: calor sensible perdido o ganado por convección; Evap: pérdida evaporativa de calor;  $TR_{\text{emitida}}$ : radiación terrestre emitida

Cuando el balance S es cercano a cero, puede esperarse que una persona se sienta térmicamente confortable. Si el balance presenta un gran valor positivo, la persona recibe más energía que la que pierde, por lo que podría haber sobrecalentamiento. Por otra parte, si el balance es negativo, la persona podría sentir frío. La Figura 4 muestra la sensación de confort humano relacionado con los valores del balance energético.

### DATOS MICRO-CLIMÁTICOS. MONITOREO Y OBTENCIÓN.

El monitoreo en cada caso se realizó durante el periodo de verano de 2016 (22 de enero al 24 de febrero). La campaña de medición para adquirir los datos micro-climáticos se efectuó utilizando sensores fijos y mediciones móviles en cada CVU.

En las mediciones fijas se emplearon sensores del tipo H08-003-02 ubicados a una altura de 1,6 m desde el nivel de la calle (Oke, 2004), dentro de una caja perforada de PVC blanco, con el objetivo de evitar la irradiación y asegurar una adecuada circulación de aire. Las mediciones de temperatura y humedad relativa fueron programadas cada 15 minutos. Las mediciones móviles se realizaron en cada CVU durante un periodo diurno continuo de 10 horas (10:00 hasta las 20:00). En esta campaña se registraron cada 15 minutos las variables de: temperatura del aire, temperatura del punto de rocío, humedad relativa y absoluta, velocidad y dirección del viento y radiación solar, utilizando una estación del tipo HoboWeatherStation®, la cual fue instalada sobre un soporte móvil que permitió desplazarla a distintos puntos (se tomaron 4 en cada CVU). Simultáneamente, se registraron los valores de temperaturas superficiales (vertical-paredes y horizontal-calle y vereda) con un termómetro infrarrojo tipo Fluke 66. La Figura 5 exhibe una imagen de los equipamientos utilizados.

### MORFOLOGÍA DE CANALES VIALES Y CONFORT EXTERIOR. RELACIÓN ENTRE VARIABLES.

Con el fin de detectar y cuantificar cuáles variables de la forma urbana muestran relación con el grado de confort exterior, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ). Los coeficientes de correlación son la expresión numérica que indica el grado de relación lineal existente entre 2 variables cuantitativas. El coeficiente de correlación  $r$  es un índice cuyos valores absolutos oscilan entre -1 y +1, su magnitud indica el grado de asociación entre las variables; el valor  $r = 0$  indica que no existe relación entre las variables. Los valores  $\pm 1$  son indicadores de una correlación perfecta, siendo positiva al crecer o decrecer  $x$ , crece o decrece  $y$ , o negativa al crecer o decrecer  $x$ , decrece o crece  $y$ . En este estudio se considera una relación de magnitud de  $\pm 0.5$ , según corresponda, como significativa. La matriz de correlación se calculó mediante el uso del software InfoStat (Di Rienzo et al., 2011).

Balance (W/m <sup>2</sup> )	Sensación
$S > -150$	La gente preferiría estar mucho más cálida
$-150 > S > -50$	La gente preferiría estar más cálida
$-50 > S > 50$	La gente preferiría no cambiar de estado
$50 > S > 150$	La gente preferiría estar más fresca
$150 < S$	La gente preferiría estar mucho más fresca

Figura 4. La sensación de confort humano relacionado con los valores del balance S. Fuente: Elaboración de los autores.



Figura 5. Fotografía del equipamiento utilizado. Fuente: Elaboración de los autores.

## RESULTADOS

La Figura 6 muestra los resultados obtenidos del cálculo del balance de energía COMFA para cada hora, como también un gráfico de frecuencias con los porcentajes acumulados para cada caso. Los colores utilizados para diferenciar cada rango son los referenciados en la Figura 4. Al analizar los datos se visualiza que en todos los casos se alcanza el balance de energía para estar en confort térmico durante al menos 2 horas. Esto sucede en mayor medida durante el periodo de la mañana (10 a 13 h) y durante el periodo cercano al ocaso (18 a 20 h), horarios donde los valores de radiación solar son menores. El caso 7 (sin forestación) es el que muestra mayor cantidad de horas de incomodidad térmica por calor (11 a 19 h). Por otro lado, el caso 4 (forestado) es el que expresa mayor cantidad de horas de comodidad térmica durante 2 periodos diferentes (12 a 15 h y 18 a 20 h).



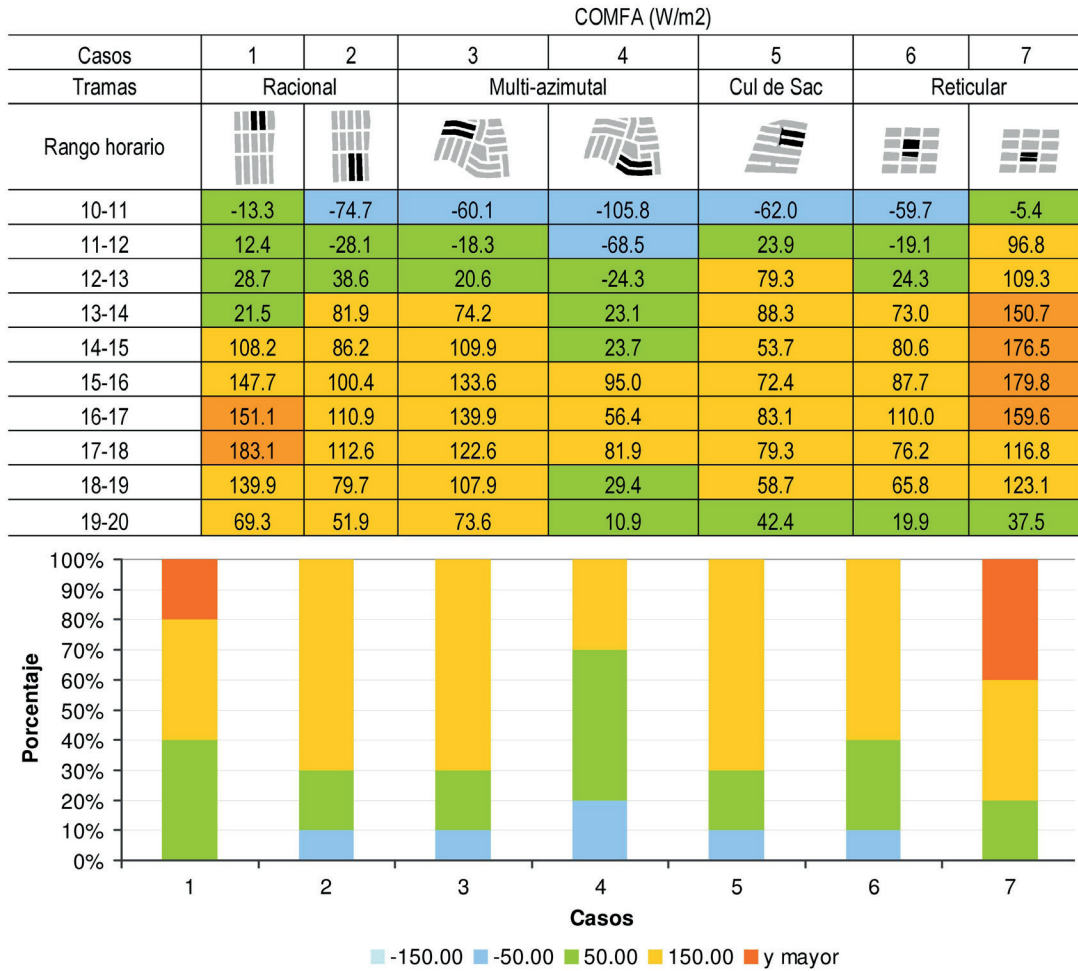


Figura 6. Valores y frecuencias del grado de confort para cada caso durante el periodo monitoreado. Fuente: Elaboración de los autores.

Caso	Horas	Convectivo (%)	Evaporativo (%)	R absorbida (%)	TR emitida (%)	Metabólico (%)
1	11-12	5	9	39	35	12
	16-17	1	5	44	38	12
2	11-12	7	11	38	33	11
	16-17	3	7	43	36	11
3	11-12	7	10	38	34	11
	16-17	2	6	43	37	12
4	11-12	8	11	36	34	11
	16-17	4	9	41	35	11
5	11-12	6	10	40	33	11
	16-17	2	7	41	38	12
6	11-12	5	9	38	36	11
	16-17	2	6	42	38	12
7	11-12	4	9	42	34	12
	16-17	2	6	44	36	12

Figura 7. Distribución porcentual de los flujos de energía que forman parte del modelo COMFA. Fuente: Elaboración de los autores.










Casos	1	2	3	4	5	6	7
Tramas	Racional		Multi-azimutal		Cul de Sac	Reticular	
							
T. máx. (°C)	36.8	35.8	36.9	35.7	38.0	35.8	38.3
T. mín. (°C)	27.8	27.1	23.4	24.8	26.0	27.5	27.9
T. prom. (°C)	32.5	31.9	30.2	30.6	31.6	31.6	32.8

Figura 8. Porcentajes de los términos del modelo COMFA. Fuente: Elaboración de los autores

Respecto a la distribución de frecuencias de las condiciones de confort a lo largo del periodo evaluado, se hace notar que:

- El caso 4 alcanza a acumular un 70% del total de horas monitoreadas en situación de confort térmico, seguido por el caso 1 y 6, con un 40%. Es decir que el caso 4, inserto en la trama de tipo multi-azimutal, consigue las mejores condiciones de habitabilidad térmica exterior.
- Del total de los casos evaluados, tres alcanzan un 30% del total de horas monitoreadas en situación de confort térmico, mientras que el caso 7 (compacto y sin forestación) solo alcanza un 20%.
- Los casos 4, 5, 6 y 7 exhiben los rangos de confort distribuidos durante el periodo de la mañana (10 - 15 h) y de la tarde (18 - 20 h); siendo el caso 4 el que evidencia mejores condiciones de habitabilidad, al concentrar el 50% de situación de confort durante la mañana.

La Figura 7 muestra la distribución porcentual de cada uno de los flujos de energía que forman parte del balance energético del modelo COMFA. Para el análisis comparativo, se seleccionó los valores correspondientes a un periodo matinal (11 a 12 horas) y a otro vespertino (16-17 horas). Al analizar los porcentajes se visualiza que el caso con mejores condiciones de confort (caso 4 - multi-azimutal), durante el periodo de mañana, presenta mayor pérdida de calor por transferencia convectiva (8%) y evaporativa (11%), y los menores valores de radiación absorbida (36%). En contraste y durante el mismo periodo, el caso con peores condiciones de confort (caso 7 - compacto sin forestación), presenta menor pérdida convectiva de calor (4%) y las mayores ganancias por radiación absorbida (42%). Durante el periodo vespertino, el caso 4 multi-azimutal mantiene mayores valores de pérdida por convección (4%) y evaporación (9%), como también los menores valores de radiación absorbida (41%) y emitida (35%). Y el caso compacto sin forestación mantiene, asimismo, los mayores rangos de radiación absorbida (44%).

Este análisis patentiza que si bien el grado de confort varía a lo largo del día en los canales analizados, aquellas formas de trama donde se inserta el canal vial y que propician la pérdida de calor sensible por convección y evaporación, a la vez que una menor absorción de radiación solar y re-emisión de radiación terrestre, son los que alcanzan mejores condiciones de confort.

Por otra parte, la Figura 8 indica los valores de temperaturas de aire máximas, mínimas y promedios de cada caso de estudio. Al examinar los valores se visualiza que el caso con menor temperatura máxima (35.7°C) es el 4 y que la menor temperatura mínima y promedio se registra en el caso 3 (23.4°C - 30.2°C); ambos casos insertos en la trama multi-azimutal. Estos resultados concuerdan con estudios previos donde se indica que la temperatura máxima es uno de los factores que determina el grado de habitabilidad del espacio exterior; mientras que la temperatura mínima refleja las posibilidades de enfriamiento — considerada como una estrategia para reducir la ICU— y que la temperatura promedio se relaciona con el consumo energético para el acondicionamiento térmico de edificios mediante el concepto de los grados día de refrigeración y calefacción (Sosa, Correa y Cantón, 2016). En los 7 casos evaluados del área metropolitana de Mendoza, se observa que la variedad de morfologías de trama en la que se insertan los CVU no siempre logran alcanzar el mejor rendimiento en cuanto a habitabilidad, reducción de la ICU y consumo energético. Dicha situación constituye un condicionante que implica priorizar alguna de las estrategias al momento de planificar las áreas urbanas de baja densidad.

Por último, el análisis a partir de la matriz de correlaciones de Pearson muestra el grado de relación lineal que existe entre COMFA y la morfología de los CVU. Según indica la Tabla 1, durante el periodo entre las 11 a las 12 horas la relación estadística es de mayor significancia en relación al número de variables urbanas (largo, ancho, superficie CVU, H/W, superficie y volumen construido, compacidad, SVF y número de árboles). Así también, es en este rango horario donde 6 de los 7 casos se encuentran en equilibrio térmico.

El indicador H/W, utilizado en ciudades de tipo compactas, señala relación estadística positiva en el rango horario de 10 a 16 horas (periodo donde la altitud y radiación solar es mayor). De la misma manera, el número de árboles muestra significancia estadística durante el mismo rango horario, pero en este caso con signo negativo. Es decir, que a menor valor de H/W (calles más abiertas - H/W= 0.15) y mayor cantidad de árboles, el grado de habitabilidad térmica es superior (menor valor COMFA). Esto pone de manifiesto que, si bien ambos indicadores se relacionan con la respuesta COMFA, es la combinación entre la

Variables	Largo	Ancho	Sup. CVU	H/W	Sup. construida	Vol. construido	Compacidad	SVF	N° árboles
COMFA 10-11	-0.78	-	-0.83	0.58	-0.86	-0.86	0.53	-	-0.68
COMFA 11-12	-0.74	-0.64	-0.90	0.78	-0.84	-0.84	0.73	0.59	-0.88
COMFA 12-13	-0.69	-	-0.77	0.66	-0.81	-0.81	0.60	0.52	-0.79
COMFA 13-14	-	-0.66	-0.67	0.76	-	-	0.75	0.56	-0.78
COMFA 14-15	-0.54	-0.67	-0.77	0.76	-0.62	-0.62	0.72	-	-0.69
COMFA 15-16	-	-0.73	-0.61	0.74	-	-	0.68	0.54	-0.52
COMFA 16-17	-0.52	-	-0.62	-	-0.61	-0.61	-	-	-
COMFA 17-18	No hay correlaciones de significancia ( $r \leq +/-0.5$ )								
COMFA 18-19	-	-	-0.53	-	-0.63	-0.63	-	-	-
COMFA 19-20	No hay correlaciones de significancia ( $r \leq +/-0.5$ )								

Tabla 1. Valores de correlación Pearson entre los variables morfológicas y forestales y la respuesta COMFA horaria.  
 Fuente: Elaboración de los autores.

forma del perfil del CVU y la existencia de forestación urbana la que contribuye a mejorar la condición de confort térmico exterior.

Sin embargo, cuando se analiza la relación con el SVF, se ve que el valor de este indicador no es un factor determinante del grado de confort, ya que al comparar los casos 6 y 7 existe una diferencia de 30% en las condiciones de confort y de 0.33 en el valor de SVF (caso 6: SVF= 0.23, 40% del periodo en estado de confort; versus caso 7: SVF= 0.56, 70% del periodo en estado de confort). En otras palabras, aunque el bloqueo a la trayectoria solar, mediante forestación y edificación, ayuda a mejorar las condiciones de habitabilidad, existen otros factores que intervienen en el balance de energía, como es la masa e inercia térmica. Esto se refleja en los altos valores de correlación de los indicadores de volumen construido y compacidad en los rangos horarios donde se registran las máximas temperaturas (15 a 17 h). Ahora bien, es sorprendente que la orientación de la trama sea una variable que parece no estar directamente vinculada a la respuesta del balance COMFA en los casos analizados, dado que los casos 1 y 2 (orientados N-S) alcanzan menores e iguales rangos de confort que los casos orientados E-O.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados en el estudio, se calculó el grado de confort térmico exterior de 7 canales viales insertos en diversas morfologías de tramas en una ciudad árida forestada. Los resultados de la investigación ponen en relevancia que las respuestas en cuanto a habitabilidad varían hasta en un 50% cuando se contrastan los comportamientos entre el caso abierto-forestado (caso 4) y el de tipo compacto-no forestado (caso 7), y un 40% entre casos forestados (caso 4 versus casos 2, 3 y 5).

En términos morfológicos, la investigación detectó que la trama multi-azimutal (casos 3 y 4) consigue el mejor desempeño tanto en confort exterior como en comportamiento térmico (temperaturas del aire máxima, mínima y promedio). No obstante, se observa que dentro de esta morfología de trama un mismo CVU no logra alcanzar el mejor rendimiento en cuanto a habitabilidad y enfriamiento nocturno. Ello se constata cuando se compara el caso 4 con mejor respuesta en cuanto a habitabilidad ( $\Delta T^{\circ}$  máxima  $_{4-3} = -1.2^{\circ}\text{C}$ ), con el caso 3 con mejores posibilidades de enfriamiento ( $\Delta T^{\circ}$  mínima  $_{4-3} = 1.4^{\circ}\text{C}$ ). Tales resultados manifiestan la importancia que tienen las decisiones de diseño y planificación de los esquemas de urbanización al momento de definir qué estrategias priorizar en las áreas residenciales de baja densidad.

De igual forma, el trabajo evidencia que el indicador H/W — utilizado en zonas áridas de esquemas compactos— no adquiere la misma relevancia para ciudades forestadas, ya que a iguales valores de este indicador las respuestas, en cuanto al grado de habitabilidad, varían ampliamente. De manera que se vuelve prioritario identificar y evaluar indicadores morfológicos que permitan predecir la respuesta en cuanto a habitabilidad térmica de acuerdo a las características de cada ciudad. En ese sentido, la matriz de correlaciones de Pearson determinó que existe un alto grado de relación lineal entre COMFA y variables morfológicas que incluyen la combinación de la huella urbana (superficie CVU, superficie y volumen construido, compacidad), el perfil (ancho, H/W) y la forestación (SVF y número de árboles) de los CVU.

Para finalizar, cabe indicar que aun cuando la labor realizada posee ciertas limitaciones en relación al número de casos evaluados, se plantea para una etapa futura ampliar la muestra (canales viales) con el propósito de evaluar, mediante técnicas estadísticas multivariadas, el impacto de las variables de caracterización utilizadas en otros esquemas urbanos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCHAPAR, Noelia; CORREA, Érica y CANTÓN, María Alicia. Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones. *E&B. Journal of Energy & Buildings*, UK. Cambridge, 2015, vol. 69, pp. 22-32.
- ALI TOUDERT, Fazia y MAYER, Helmut. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment*, 2006, n°41, pp. 94-108.
- BÓRMIDA, Eliana. Mendoza, modelo de ciudad oasis. *Revista SUMMA*, 1986, n° 226, pp. 68-72.
- BROWN, Robert y GILLESPIE, Terry. *Microclimatic landscape Design: Creating thermal confort and energy efficiency*. New York: John Wiley and Sons, 1995.
- CORREA, Érica; DE ROSA, Carlos y LESINO, Graciela. Urban heat island effect on heating and cooling degree day's distribution in Mendoza's metropolitan area. Environmental costs. En: Sociedade Portuguesa de energia solar (SPES) (ed.), *Proceedings of the 1st international conference on solar heating, cooling and buildings (EUROSUN 2008)*. New York: Curran associates, Inc. Red, 951-958.
- CORREA, Érica; RUIZ, María Angélica y CANTÓN, María Alicia. Morfología forestal y confort térmico en "ciudades oasis" de zonas áridas. *Ambiente construido*, 2010, vol. 10, n° 4, pp.119-137.
- Di RIENZO, Julio; CASANOVES, Fernando; BALZARINI, Mónica; GONZÁLEZ, Laura; TABLADA, Margot y ROBLEDO, Walter. *InfoStat versión 2011*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2011.
- HIGUERAS, Esther. *Urbanismo bioclimático*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2012.
- GIVONI, Baruch. *Urban design in different climates*. World meteorological organization, 1989.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS, INDEC. Censo nacional de población, hogares y viviendas (2010). Argentina. Disponible en: <http://www.censo2010.indec.gov.ar/>
- JOHANSSON, Erik. Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot and dry climate: A study in Fez, Morocco. *Building and Environment*, 2006, n° 41, pp. 1326-1338.
- LIN, Tzu-Ping; MATZARAKIS, Andreas y HWANG, Ruey-Lung. Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment*, 2010, n°45, pp. 213-221.
- NIKOLOPOULOU, Marianela y LYKOUUDIS, Spyros. Thermal comfort in outdoor urban spaces: analysis across different European countries. *Building and environment*, 2006, n°41, pp. 1455-1470.
- OKE, Timothy. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*, 1982, n° 108, pp. 1-24.
- OKE, Timothy. *IOM Report No. 81, WMO/TD No. 1250: Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites*. Geneva: WMO, 2004.
- PERINI, Katia y MAGLIOCCO, Adriano. Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2014, n° 13, pp. 495-506.
- RATTI, Carlos; RAYDAN, Dana y STEEMERS, Koen. Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate. *Energy and Buildings*, 2003, n° 35, pp. 49-59.
- RUIZ, Angélica y CORREA, Érica. Suitability of different comfort indices for the prediction of thermal conditions in tree-covered outdoor spaces in arid cities. *Theor.Appl. Climatol*, 2015, n°122, pp. 69-83.
- RUIZ, Angélica; CORREA, Érica y CANTÓN, María Alicia. Función ambiental de parques urbanos en zonas áridas: clima y confort térmico. ENTAC, 2012 – XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Juiz de Fora, Brasil.
- RUIZ, María Angélica; SOSA, María Belén; CORREA, Érica y CANTÓN, María Alicia. Suitable configurations for forested urban canyons to mitigate the UHI in the city of Mendoza, Argentina. *Urban Climate*, 2015, n° 14, pp. 197-212.
- SHASHUA-BAR, Limor y HOFFMAN, Milo. Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees. *Energy and Buildings*, 2003, n° 35, pp. 61-68.
- SOSA, María Belén; CORREA, Érica y CANTÓN, María Alicia. Morfología urbana y comportamiento térmico de canales viales. Desarrollo de un modelo predictivo para temperaturas máximas. *Urbano*, 2016, n° 33, pp. 66-75.
- SOSA, María Belén; CORREA, Érica y CANTÓN, María Alicia. Urban grid forms as a strategy for reducing heat island effects in arid cities. *Sustainable Cities and Society*, 2017, n° 32, pp. 547-556.
- STOCCO, Susana; CANTÓN, María Alicia y CORREA, Érica. Design of urban green square in dry areas: Thermal performance and comfort. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2015, n° 14, pp. 323-335.
- TALEGHANI, Mohammad; KLEEREKOPER, Laura; TENPIERIK, Martin y VAN DEN DOBBELSTEEN, Andy. Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and Environment*, 2015, n° 83, pp. 65-78.
- TORNERO José, PÉREZ, Alejandro y GÓMEZ LOPERA, Francisco. Ciudad y confort ambiental: Estado de la cuestión y aportaciones recientes. *Cuadernos de Geografía*, 2006, n° 80, pp. 14-182.
- TUMINI, Irina. *El microclima urbano en los espacios abiertos. Estudio de casos en Madrid*. Tesis doctoral inédita, Universidad Politécnica de Madrid, 2013.
- TUMINI, Irina y PÉREZ, Alexis. Aplicación de los sistemas adaptativos para la evaluación del confort térmico en espacios abiertos, en Madrid. *Revista Hábitat Sustentable*, 2015, n° 5, pp. 55-67.
- TUMINI, Irina. El microclima urbano en los espacios abiertos. Estudio de casos en Madrid. Tesis doctoral inédita, Universidad Politécnica de Madrid, 2013. UN-Hábitat Working Paper. *The relevance of street patterns and public space in urban areas*, 2013.





# ¿CUÁNTO NOS IMPORTA LA CLASE ENERGÉTICA DE NUESTRAS VIVIENDAS? UN ANÁLISIS DEL NIVEL DE COMPRENSIÓN DE LOS EPC, DISPOSICIÓN Y MOTIVOS DE PAGO EN BARCELONA.

HOW MUCH DOES THE ENERGY CLASS OF OUR DWELLINGS MATTER  
TO US? AN ANALYSIS OF THE LEVEL OF UNDERSTANDING OF EPCS,  
WILLINGNESS TO PAY AND REASONS FOR PAYMENT IN BARCELONA.

CARLOS MARMOLEJO DUARTE  
Centro de Política de Suelo y Valoraciones, Escuela Técnica  
Superior de Arquitectura de Barcelona, Universidad Politécnica de  
Cataluña, Barcelona, España  
[carlos.marmolejo@upc.edu](mailto:carlos.marmolejo@upc.edu)

ALEJANDRA GARCÍA-HOOGHUIS  
INDRA, Minsait. Departamento de Soluciones Digitales.  
Madrid, España.  
[acgarcia@minsait.com](mailto:acgarcia@minsait.com)

ANNA GARCÍA-MASIÁ  
Diputación de Barcelona  
Barcelona, España  
[annagarciamasia@gmail.com](mailto:annagarciamasia@gmail.com)

## RESUMEN

En este artículo se reportan los resultados de una investigación pionera en España cuyos objetivos son analizar el nivel de comprensión de las certificaciones energéticas EPC por parte de los hogares y conocerla disposición a pagar (DAP) por las viviendas energéticamente eficientes y los factores que la motivan. Mediante una valoración contingente se extrae la DAP para mejorar la clase energética de un apartamento tipo en Barcelona. En general, los encuestados desconocen los elementos que determinan la clase energética, especialmente los menos formados y los de mayor edad. Esto produce una desconfianza del certificado e incide en una infravaloración de las viviendas energéticamente eficientes. La DAP por la mejora E->A se sitúa en 30,58 euros/mes e iguala el ahorro ofrecido en la factura energética. Detrás de la DAP subyacen razones financieras, como el nivel de ingresos o el ahorro económico, pero también la sensibilidad medioambiental y el consumo responsable. Finalmente, las personas que prefieren comprar en lugar de alquilar parecen estar más dispuestas a pagar por una mejor calificación. Todo ello constituye un mensaje claro para la política energética y de vivienda.

## Palabras clave

energy performance certificates, valoración contingente, mercado residencial, clase energética.

## ABSTRACT

This article reports the results of pioneer research in Spain whose objectives are to analyze the level of understanding of energy performance certificates (EPC) by households and to know the willingness to pay (WTP) for energy efficient housing and the influencing factors. By means of contingent valuation, the WTP was calculated to improve the energy class of a typical apartment in Barcelona. In general, respondents were unaware of the elements that determine energy class, especially individuals with less education and senior citizens. This led to mistrust of certificates and to the undervaluing of energy-efficient housing. The WTP for the improvement E->A was found to be 30.58 euros/month, which equals electricity bill savings. Behind WTP there were underlying financial reasons, such as income level or economic savings, but also sensitivity to the environment and responsible consumption. Finally, those who prefer to buy rather than rent seemed to be more willing to pay for a better rating. All this constitutes a clear message for energy and housing policy.

## Keywords

energy performance certificates, contingent valuation, residential market, energy class.

## INTRODUCCIÓN

El aumento de la evidencia científica sobre el cambio climático, los altos precios de la energía, la dependencia de las importaciones energéticas y sus posibles repercusiones geopolíticas (CE, 2008) han convertido la eficiencia energética en un área de actuación estratégica en la Unión Europea (UE). Si se considera que en Europa los edificios son responsables de más del 40% del consumo energético (*ibídem*) -del cual el 63% corresponde al uso residencial- (Poel, Van Cruchten y Balaras, 2007) y del 36% de las emisiones de CO<sub>2</sub> (WWF, 2010), resulta evidente que la edificación es un sector clave para cumplir con el protocolo de Kyoto, del 20-20-20, y además para crear empleo (EPBD, 2010). En este contexto, la Comisión Europea publicó la *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD) 2002/91/CE, refundida en la Directiva 2010/31/UE que, si se implementa integralmente, prevé una reducción del 6,5% de la energía final equivalente demandada en la UE (De Ayala, Galarraga y Spadaro, 2016).

La EPBD da transparencia a la eficiencia energética de los edificios mediante los *Energy Performance Certificates* (EPC). Así, las etiquetas derivadas permiten establecer una diferenciación inmobiliaria cuyo objetivo ulterior es la promoción y rehabilitación de edificios eficientes. La directiva exige a los estados su transposición como legislación propia, con el objetivo de determinar los requisitos y sistemáticas de cálculo adecuados a la realidad climática, energética y constructiva de cada uno (García-Hooghuis y Neila, 2013).

En España la transposición de la EPBD se ha realizado mediante varios Reales Decretos (RD): el RD 314/2006 del CTE determina los requisitos de eficiencia energética, el RD 1027/2007 fija los requisitos de inspección de calderas y climatización, el procedimiento certificador de edificios nuevos está contenido en el RD 47/2007 y de los existentes, en el RD 235/2013. Fruto de este último RD, es obligatorio, desde el 1 de junio de 2013, que la práctica totalidad de los inmuebles que se alquilen y vendan cuente con un EPC e incluso que sus publicidades contengan la clase energética. Sin embargo, este extremo es de aplicación muy limitada y, por ende, se requiere evidencia sobre la efectividad de la

política sobre la diferenciación inmobiliaria. En ese sentido, los estudios nacionales<sup>1</sup> que han analizado el impacto de los EPC sobre el mercado residencial se han limitado a estudiar su influencia en los precios. De Ayala, Galarraga y Spadaro (2016) parten de valores de venta declarados por una muestra de encuestados de 5 ciudades (Madrid, Bilbao, Sevilla, Vitoria y Málaga) y de un cálculo propio de la clase energética para determinar que las viviendas clasificables como A, B o C tienen un valor, en opinión de sus propietarios, superior en un 9,8% que aquellas clasificables como D, E, F o G. Por su lado, Marmolejo (2016) utiliza valores de oferta de viviendas en venta en Barcelona y encuentra un sobreprecio de 5,11% por pasar de la clase G a la A, o del 9,62% si se acepta que las personas perciben la clase energética como una variable categórica.

Sin embargo, queda pendiente investigar el nivel de comprensión de los EPC por parte de los hogares españoles y sus implicaciones sobre la política energética. Este trabajo pretende avanzar en dicho camino a través de tres objetivos: 1) evaluar el nivel de conocimiento de los EPC por parte de los hogares; 2) conocerla disposición a pagar por las viviendas más eficientes y, 3) las razones que subyacen detrás de dicha disposición de pago. Con el fin de salvar el escollo que supone la escasez de transacciones de viviendas de clases energéticas altas<sup>2</sup>, se usa la valoración contingente, en el marco de una encuesta más amplia que permite alcanzar los objetivos perseguidos, según se explicita a continuación.

## METODOLOGÍA, CASO DE ESTUDIO Y DATOS

Se acude a la valoración contingente (VC) como vía para extraer la disposición a pagar<sup>3</sup> (DAP) por beneficiarse de un cambio. Este método permite evaluar cambios que aún no ocurren o aún no se encuentran en el mercado y recrea un mercado hipotético de provisión de cambios potenciales (Mitchell y Carson, 1989) con el propósito de que los encuestados revelen su DAP. Desde la perspectiva teórica, la VC intenta conocer directamente la variación equivalente o la compensatoria que un consumidor tendría que hacer para

- 
- [1] Véase en Mudgal, Lyons y Cohen (2013) una revisión sistemática de los primeros estudios sobre el impacto de los EPC en el mercado residencial europeo y una actualización de los mismos en Fuerst *et al.* (2015) y Ramos *et al.* (2015).
- [2] Como se ha dicho, a pesar de que es obligatorio contar con la etiqueta EPC desde la misma publicitación inmobiliaria con el objeto de favorecer las decisiones de compra y alquiler energéticamente informadas, según datos de Marmolejo (2016), únicamente un 12% de las ofertas plurifamiliares de uno de los principales portales inmobiliarios en Barcelona incluye esta información. Además, el mismo autor señala que, de las ofertas energéticamente informadas, la clase A y C representan solo un 6,65%. Esto pone de relieve que, debido a la paralización inmobiliaria producida por la crisis, existen muy pocas viviendas adaptadas a los requerimientos del DB-HE del Código Técnico de la Edificación (CTE).
- [3] Este concepto de la microeconomía se usa para expresar la cantidad máxima que pagaría una persona por adquirir o usar un bien o servicio determinado.

acceder o renunciar al cambio ofrecido (Soguel, 1996). Dichas variaciones se miden en unidades monetarias que mensuran las pérdidas/ganancias de bienestar de los encuestados ante el cambio ofrecido (Riera, 1994).

El cambio evaluado es una mejora en la clase energética de un apartamento convencional entre medianeras de 3 habitaciones, 2 baños, con una superficie de 81,5 m<sup>2</sup> útiles, ubicado en Barcelona. Éste responde a la tipología dominante de apartamentos de reciente construcción, según el análisis multivariante construido a partir de 4.000 observaciones del Centro de Política de Suelo y Valoraciones. En concreto, la mejora energética ofrecida representa pasar de la clase "E" a la máxima "A"<sup>4</sup> contemplada por la transposición española.

Para ilustrar las repercusiones sobre la economía familiar y el medio ambiente, las personas encuestadas fueron informadas del ahorro en la factura energética y las emisiones de CO<sub>2</sub> que supone la mejora ofrecida. Además, y a diferencia de lo que contempla la legislación, las unidades utilizadas fueron comprensibles:

- El ahorro en la factura energética se expresó en euros mensuales. Unidad temporal que coincide con la periodicidad de los ingresos y los gastos del grueso de la población.
- Y las emisiones de CO<sub>2</sub> en unidades de masa y en kilómetros que recorre un automóvil.

Así, los encuestados fueron informados que para el apartamento en cuestión pasar de la clase "E" a la "A" supondría un ahorro de 30 euros/mes en las facturas de electricidad y gas, y una reducción de CO<sub>2</sub> equivalente 16.000 km de recorrido de un turismo. Tanto el ahorro energético como la reducción de CO<sub>2</sub> provienen de estimaciones realizadas para la misma tipología edilicia por García-Navarro, González-Díaz y Valdivieso(2014) y Barboza (2016). Por tanto, se decidió lo siguiente: 1) actualizar el coste energético a la fecha actual y, en el caso de citado trabajo de García-Navarro González-Díaz y Valdivieso, trasladarlo al ámbito de estudio tomando en consideración la diferencia del coste de la energía; 2) realizar un modelo de regresión para estimar la media del consumo energético, el coste de la factura energética y las emisiones; y 3) convertir las unidades de emisiones en km recorridos equivalentes, utilizando datos del

Instituto para la Diversificación Energética sobre emisiones de CO<sub>2</sub> de coches nuevos.

Después de informar sobre las repercusiones económicas y ambientales de la mejora energética ofrecida, se preguntó a los encuestados si estaban más dispuestos a pagar por el alquiler o por la cuota hipotecaria del apartamento "A"<sup>5</sup>, teniendo en consideración sus restricciones presupuestarias. La respuesta fue abierta, si bien se partió de un valor guía del ahorro potencial en la factura energética. De ese modo, en un primer tanteo se preguntó si estaban DAP más o menos de 30 euros mensuales, y en un segundo, se pidió indicasen de forma libre la cantidad exacta. Desde el primer momento las personas fueron informadas que podían estar no DAP.

Asimismo, se indagaron las razones detrás de la DAP o de su rechazo. Esta información permite conocer, en el caso de las personas que declararon una DAP positiva, si dicho sobrepago deriva de ahorros potenciales, de una conciencia en la preservación del ambiente/la salud pública o, incluso, de una eventual recompensa psicológica derivada de un consumo responsable.

La VC se realizó dentro de una encuesta más amplia organizada en tres partes:

- Contextualización. Aquí se indaga el conocimiento previo de los EPC, así como los hábitos energéticos y la "satisfacción energética" de la vivienda actual.
- Valoración contingente. Una vez explicado claramente el cambio ofrecido (pasar de una clase "E" a otra "A"), sus repercusiones económicas y ambientales en unidades ilustrativas comprensibles, se preguntó por la DAP de los encuestados, quienes fueron informados que el resto de atributos arquitectónicos y locativos permanecían igual.
- Perfil socio-residencial. Recoge información socio-demográfica y de la vivienda actual.

Las encuestas informatizadas se realizaron en mayo de 2016, la mitad de ellas, mediante Internet y la otra, presencialmente. Esto permite compensar los posibles sesgos derivados del modo de encuesta: en el presencial, los encuestados tienden

[4] Es posible que dentro de las viviendas de reciente construcción aparezcan clases energéticas menores que las que resultan de la aplicación del CTE, debido a que la crisis ha ralentizado la construcción/comercialización de proyectos con licencia anterior a su entrada en vigor.

[5] Se decidió preguntar por el alquiler mensual o cuota hipotecaria ya que, con los tipos de interés hipotecarios medios y las rentabilidades típicas del mercado plurifamiliar en Barcelona, en los años recientes, la cuota mensual hipotecaria se aproxima al alquiler mensual. Si bien, en una pregunta posterior se indaga el régimen de tenencia preferido con el objeto de averiguar su incidencia sobre la DAP. Asimismo, una DAP expresada en términos mensuales tiene relación con el ahorro ofrecido en la factura energética que también es mensual. Y todo ello tiene relación con el hecho de que los ingresos familiares y, por ende, los presupuestos suelen ser mensuales.

Conocimiento	Toda la muestra	Máximo nivel de estudios			Edad			
		Pregrado	Grado	Postgrado	18 a 30	31 a 45	46 a 65	Más de 65
Nulo	10%	19%	7%	4%	8%	8%	9%	29%
Bajo	16%	14%	19%	16%	15%	16%	16%	24%
Medio_bajo	44%	51%	38%	44%	47%	42%	45%	43%
Medio_alto	24%	15%	26%	30%	23%	28%	25%	5%
Alto	6%	1%	9%	6%	7%	7%	4%	0%
Aciertos	2,00	1,66	2,12	2,17	2,05	2,11	2,00	1,24
Sig. de ANOVA		0,002			0,004			

Conocimiento	Toda la muestra	Ingresos		
		Medios bajos	Medios altos	altos
Nulo	10%	12%	10%	6%
Bajo	16%	20%	11%	15%
Medio_bajo	44%	41%	50%	43%
Medio_alto	24%	22%	22%	30%
Alto	6%	5%	7%	6%
Aciertos	2,00	1,9	2,06	2,15
Sig. de ANOVA		0,182		

Nota: La segmentación por ingresos responde a los terciles, siendo los límites 2.400 y 3.600 euros netos/hogar/mes; Pregrado= Primaria, Secundaria y Bachillerato  
 Grado= diplomatura y licenciatura; Postgrado=máster y doctorado

Tabla 1. Nivel de conocimiento de los EPC.

a inclinarse por aquello que es moral o socialmente aceptado, y en contrapartida, los encuestadores ayudan a resolver las dudas; en cambio, en las encuestas en línea, no existe una ayuda personalizada, pero las respuestas pueden ser más sinceras. Los participantes fueron reclutados en los distintos barrios de Barcelona y su primer entorno metropolitano, con el objetivo de asegurar que la muestra reflejase la diversidad socio-demográfica. Desde luego, se tuvo especial cuidado de que ellos fuesen residentes, mayores de edad y que participasen en la toma de decisiones residenciales. Así, se obtuvo información proveniente de 265 participantes (una vez descartados otros 61 con información incompleta/inconsistente). Si se toma en consideración que, según datos del Censo del 2011, en el ámbito de estudio hay 926.583 hogares, el margen de error de la DAP es de 2,81 euros/mes (al 99% de confianza)<sup>6</sup>.

los datos obtenidos fueron analizados con métodos estadísticos convencionales como se explicita oportunamente.

## RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados referidos a los tres objetivos del trabajo, a saber, estudiar: 1) el nivel de conocimiento de los EPC por parte de los hogares, 2) conocer la DAP por las viviendas energéticamente eficientes y 3) las razones que subyacen a dicha disposición a pagar.

### ¿CUÁNTO CONOCEMOS LOS EPC?

En el ámbito residencial, una de las claves del éxito de la política de los EPC pasa por su adecuado conocimiento por parte de los hogares. Por ello se ha pedido a las personas encuestadas que indicasen los elementos que creían se tenían en cuenta para determinar la clase energética residencial, dentro de un conjunto de 4 temas: consumo energético (operación y construcción), hídrico y emisiones de CO<sub>2</sub>. La Tabla 1 detalla que, de media, los encuestados acertaron en 2 de las 4 dimensiones, lo cual permite afirmar que solo un 6% conoce perfectamente lo que miden los

[6] No obstante, la segmentación por nivel de estudios, a pesar de las precauciones tomadas, indica una sobre-representación del grupo de personas con formación universitaria en detrimento de aquellas con educación básica. Por tanto, los resultados aquí reportados deben tener en consideración esta circunstancia.



		Toda la muestra	Máximo nivel de estudios			Edad		
			Pregrado	Grado	Postgrado	18 a 30	31 a 45	46 a 65
<b>Unidades de Energía</b>	kWh	37%	24%	37%	48%	39%	38%	33%
	Euros	63%	76%	63%	52%	61%	62%	67%
		Sig. de Chi-cuadrado *	0,005			0,674		
<b>Unidades de Contaminación</b>	Toneladas CO2	29%	11%	31%	42%	28%	35%	22%
	Árboles necesarios para absorber el CO2	52%	56%	49%	50%	59%	51%	45%
	Kms recorridos por un turismo que emite CO2	20%	33%	20%	8%	12%	14%	33%
		Sig. de Chi-cuadrado *	-			0,002		
			Ingresos					
			Medios baj	Medios alt	altos			
<b>Unidades de Energía</b>	kWh		36%	29%	46%			
	Euros		64%	71%	54%			
		Sig. de Chi-cuadrado *	0,108					
<b>Unidades de Contaminación</b>	Toneladas CO2		28%	29%	30%			
	Árboles necesarios para absorber el CO2		49%	50%	58%			
	Kms recorridos por un turismo que emite CO2		23%	21%	12%			
		Sig. de Chi-cuadrado *	0,459					

Nota: La segmentación por ingresos responde a los terciles, siendo los límites 2.400 y 3.600 euros netos/hogar/mes; Pregrado= Primaria, Secundaria y Bachillerato  
 Grado= diplomatura y licenciatura; Postgrado=máster y doctorado

\* Se ha verificado la corrección por continuidad o corrección de Yates

Tabla 2. Unidades de consumo energético y emisiones atmosféricas preferidas.

EPC (i.e. no se equivoca por exceso ni por defecto), mientras que un 44% tiene conocimientos medios bajos. Si la muestra se segmenta según las características socio-demográficas emergen hallazgos interesantes: cuanto mayor es el nivel de formación y de ingresos, mayor es el nivel de conocimiento de los EPC; y cuanto mayor es la edad, menor el nivel de conocimiento.

En este sentido, llama poderosamente la atención el muy escaso conocimiento del esquema certificador de los mayores de 65 años. Cabe resaltar que este colectivo forma parte de la demanda residencial originada por cambios de lugar de residencia, en la estructura del hogar, por la mejora y la segunda residencia. En consecuencia, la difusión del significado y repercusiones de los EPC deberían reforzarse en el caso de las personas con un menor nivel de estudios y de mayor edad.

Las unidades técnicas que utilizan los EPC para expresar las repercusiones económicas y ambientales de las edificaciones constituye uno de los problemas previamente identificados en la literatura especializada (Lainé, 2011, Amecke, 2012). Si bien, los escalones ordinales "A"- "G" permiten establecer comparaciones sencillas entre diferentes inmuebles, sus unidades expresadas en kWh/m<sup>2</sup> (de energía primaria no renovable) y toneladas de CO<sub>2</sub>

dificultan la comprensión para el público no especialista. La Tabla 2 detalla que la mayoría de las personas (63%) prefieren que el consumo esté expresado en euros y la minoría, en las unidades técnicas previstas en la legislación. La prueba de Chi-cuadrado sugiere que la predilección por las unidades antes comentadas es estadísticamente diferente según el nivel de estudios, pero no según la edad.

Por otra parte, un 52% de la muestra prefiere que las emisiones atmosféricas se expresen en el equivalente de árboles necesarios para absorber el CO<sub>2</sub> y un 20%, en kilómetros de recorrido equivalente de un turismo. Cuanto mayor es el nivel de estudios, se apuesta más por las unidades de masa y menos por las "ilustrativas". Asimismo, cuanto mayor edad tienen las personas, mayor es la preferencia del recorrido equivalente del vehículo en detrimento de las unidades de masa. Interesantemente, las unidades en árboles equivalentes parecen ser igualmente preferidas con independencia del nivel de estudios o edad. La prueba de Chi-cuadrado, en tanto, impide rechazar la hipótesis nula de independencia entre la preferencia de unidades y los ingresos familiares de las personas encuestadas. Las preferencias, por ende, parecen responder a diferencias cognitivas.

Motivo	Frecuencia	Frecuencia relativa
Desconfía de los EPC	24	43%
No le importa la eficiencia energética	6	11%
Ya paga demasiado por la vivienda	10	18%
El ahorro en la factura de luz y gas es insuficiente	8	14%
Su economía no le permite pagar más	8	14%
Total	56	100%

Tabla 3. Razones por las cuales las personas no están DAP más por la mejora energética ofrecida.

		Respuesta			Total
		DAP>0	Desconfianza EPC	DAP=0 por otras razones	
Conocimiento_EPC	Nulo	15	4	7	26
	Bajo	33	3	7	43
	Medio_bajo	91	13	13	117
	Medio_alto	59	2	3	64
	Alto	11	2	2	15
Total		209	24	32	265
Aciertos		2,09	1,79	1,56	
Sig. de ANOVA			0,014		

Tabla 4. DAP por la calificación energética según conocimiento del esquema EPC.

### ¿CUÁNTO ESTAMOS DISPUESTOS A PAGAR POR UNA MEJOR CLASE ENERGÉTICA?

Del conjunto de 265 encuestas válidas, la inmensa mayoría de las personas (un 78%) declaró estar DAP más por la mejora de la clase energética, mientras que solamente un 22% rechazó pagar más. De esta manera, la primera conclusión a la que es posible llegar es que una importante parte de la población encuestada está efectivamente DAP por acceder a viviendas energéticamente eficientes.

De las 56 personas que dijeron no estar DAP, un 43% indicó que desconfiaba de que los EPC fuesen un buen indicador del ahorro energético, otro 18% dijo que ya pagaba demasiado por la vivienda y un 14%, que su economía no le permitía pagar más o que el ahorro ofrecido en la factura energética era insuficiente. Finalmente, un 11% señaló no importarle la eficiencia energética (ver Tabla 3).

El rechazo principal podría atribuirse a una desconfianza percibida del esquema certificador, que puede provenir de

su desconocimiento. La Tabla 4 detalla la relación entre el nivel de conocimiento de los EPC y tres categorías de la DAP: paga algo, no paga nada por desconfiar del esquema EPC y no paga por otras razones. Como puede observarse, existe una clara correlación entre la media de aciertos y el comportamiento declarado frente a un eventual sobrepago por una mejora energética: quienes estaban dispuestos a pagar por el cambio ofrecido (E->A) tuvieron 2,09 aciertos, mientras que quienes rechazaron pagar tuvieron 1,79 aciertos, en el caso de quienes desconfían del esquema, y 1,56 quienes no están DAP por otras razones. Este análisis sugiere que efectivamente existe una relación entre el nivel de conocimiento de los EPC y la DAP.

Para determinar la DAP media es necesario discernir cuáles de las no-DAP responden a ceros verdaderos (i.e. las personas atribuyen importancia nula a la mejora energética) y cuáles son ceros de protesta (i.e. las personas no revelan su verdadera DAP por otras razones). Así, quienes indicaron que no estaban DAP porque ya pagan mucho por la vivienda, porque su economía no se los permite o porque no confían en la etiqueta energética

		DAP			
		Media	Desviación	Ratio de	Sig. Test de
		(Eruos/mes)	estándar	variación	Anova
		(Euros/mes)	(Euros/mes)		
Régimen de tenencia deseado	Alquiler	27,35	15,16	0,55	,048
	Propiedad	32,32	18,88	0,58	
Nivel de estudios	Pregrado	25,98	15,73	0,61	,041
	Grado	33,51	20,36	0,61	
	Postgrado	31,12	15,81	0,51	
Nivel de ingresos	Medio-bajo	27,42	15,14	0,55	0,058
	Medio-alto	32,19	19,83	0,62	
	Alto	33,84	18,88	0,56	

Tabla 5. Disposición a pagar según régimen de tenencia, nivel de estudios y de ingresos.

como un indicador del ahorro y emisiones de CO<sub>2</sub>, fueron considerados como ceros de protesta. En cambio, quienes indicaron que no pagaban por no importarles la eficiencia energética o consideraron que el cambio ofrecido era insuficiente fueron considerados ceros "verdaderos"<sup>7</sup>.

De media, las personas están DAP 30,58 euros/mes por la mejora energética ofrecida en un rango que va de los 5 a los 100 euros/mes. Por tanto, no se observan valores extremos, de forma que el valor de ahorro mensual de 30 euros/mes ha servido de guía y contención de la DAP, no obstante también ha "anclado" las respuestas. Ahora bien, dicho anclaje es relativo, puesto que la existencia de una desviación estándar de 17,79 euros es significativa de una cierta heterogeneidad de la DAP. El histograma de la Figura 2 permite apreciar que la cola derecha es más pesada que la izquierda.

Si la muestra se segmenta según el régimen de tenencia deseado, el nivel de estudios e ingresos, es posible encontrar DAP medias estadísticamente diferentes. Así, quienes prefieren comprar están más DAP que quienes prefieren alquilar. Por su parte, el nivel de ingresos ejerce una influencia importante sobre la DAP: cuanto mayor es éste mayor es la DAP. En cambio, la diferencia socioeducativa no es tan evidente, porque si bien los universitarios (graduados y postgraduados) pagan más que los no universitarios, los postgraduados pagan un poco menos que los graduados. Esta pequeña diferencia se explica porque los postgraduados son más jóvenes (34,6 años) que los graduados (38,3 años), y además prefieren alquilar (y pagar menos) más que los graduados quienes, al ser más grandes, prefieren comprar (ver Tabla 5).

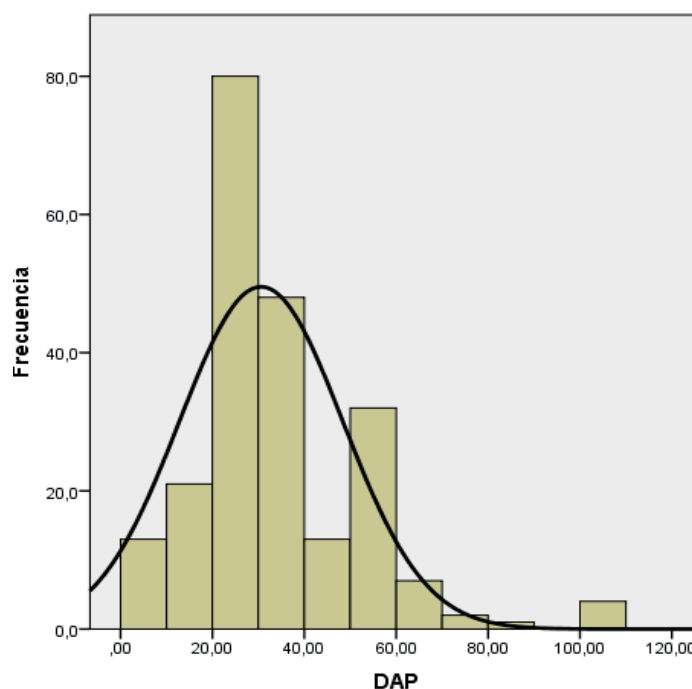


Figura 1. Histograma de la DAP marginal por A/E.

[7] 44 casos fueron clasificados como respuestas de protesta y 12 como ceros verdaderos.

	Variable explicativa	Correlación de Spearman con el Ln de la DAP	Sig.	Mín.	Máx.	Med	Desviación estandar	Significado/ unidades	
Comportamientos sostenibles	Separa basura	0,14	0,04	1	4	3,27	0,98	1= nunca, 4= siempre	
	Usa transporte público	0,14	0,05	1	4	3,34	0,89	1= nunca, 4= siempre	
	Ahorra energía	0,02	0,72	1	4	3,75	0,53	1= nunca, 4= siempre	
Prioridad para mejorar la vivienda actual	Reforma cocina y baños	0,00	0,96	1	4	2,78	1,02	1=baja, 4=alta	
	Cambiar distribución espacios	-	0,06	0,40	1	4	2,10	0,93	1=baja, 4=alta
	Aislar muros	0,13	0,06	1	4	2,99	1,04	1=baja, 4=alta	
	Aislar ventanas	0,06	0,37	1	4	3,26	1,00	1=baja, 4=alta	
Razones por las que sí está DAP más por la vivienda más eficiente	Mejorar caldera	0,08	0,26	1	4	3,02	1,03	1=baja, 4=alta	
	Por los ahorros en la factura energética	0,20	0,00	1	4	3,63	0,58	1=nada   4= muy de acuerdo	
	Por contaminar menos	0,23	0,00	1	4	3,45	0,70	1=nada   4= muy de acuerdo	
	Porque es una acción socialmente ejemplar	0,20	0,00	1	4	2,63	0,93	1=nada   4= muy de acuerdo	
	Porque una viv energética vale más en el mercado	0,02	0,77	1	4	2,83	0,80	1=nada   4= muy de acuerdo	
	Porque la salud mejora en un ambiente limpio	0,20	0,00	2	4	3,44	0,64	1=nada   4= muy de acuerdo	
Relación con la actividad	Eficiencia energética percibida de la viv. actual	0,13	0,07	1	3	1,89	0,63	1=baja, 3=alta	
	Estudios terminados	0,07	0,29	1	7	5,40	1,70	1=primaria, 7=postgrado	
	Edad	0,05	0,45	24	70	40,01	13,76	años	
	Ingreso neto familiar	0,16	0,02	600	4800	2.333	1.198	Euros/mes	
	Conocimiento_EPC	0,15	0,04	0	4	2,09	0,97	0=nulo, 4=muy alto	
	Reforma_energ*	0,11	0,11	3	12	9,27	2,26		
	Med_amb**	0,19	0,01	5	12	10,36	1,63		
	Mujer	-	0,05	0,44	0	1	0,58	0,49	(%)
	Prefiere comprar la vivienda ofrecida	0,16	0,02	0	1	0,18	0,38	(%)	
	Estudiante	-	0,04	0,55	0	1	0,21	0,41	(%)
Desempleado/a	-	0,03	0,70	0	1	0,04	0,19	(%)	
Trabajando	0,07	0,35	0	1	0,67	0,47	(%)		
Jubiado/a u otro	-	0,03	0,64	0	1	0,08	0,27	(%)	

Notas

\* Variable sintética a partir de identificar las personas que indican como prioritario la mejora del aislamiento de los muros, las ventanas y la sustitución de las calderas por otras más eficientes de su vivienda actual

\*\* Variable sintética a partir de analizar los comportamientos sostenibles de los encuestados

En gris aparecen las variables cuya correlación con el Ln de la DAP no es significativa al 90% de confianza

N=209, personas que sí estaban DAP > 0

Tabla 6. Estadísticos descriptivos de las variables explicativas usadas en la modelación y su correlación con la DAP.

Finalmente, las 209 personas que estaban DAP argumentaron, por orden de importancia, las siguientes razones para hacerlo: 1) el ahorro en la factura energética; 2) la reducción de la contaminación; 3) las mejoras en la salud asociadas a un ambiente limpio; 4) la revalorización de la vivienda y, 5) la consideración de que la elección de una vivienda eficiente es una acción socialmente ejemplar. Como se ve, las razones principales son de tipo pecuniario, sin embargo, la conservación del ambiente y su repercusión sobre la salud pública ocupan el segundo lugar. Menos clara es la relación entre la eficiencia energética y el valor de la vivienda: los costes operativos evitados (p.e. ahorro

en la factura energética) tendrían que reflejarse en un mayor valor del inmueble. Pese a ello, este mecanismo de compensación no es identificado por los encuestados.

### ¿QUÉ FACTORES INFLUENCIAN LA DAP?

Con el fin de identificar los factores que inciden en la DAP es necesario realizar un análisis multivariado, para lo cual se ha diseñado un modelo de regresión en donde la variable dependiente es el Ln de la DAP<sup>8</sup> y las independientes, las reportadas en la Tabla 6. De dicha tabla cabe destacar la correlación positiva entre la DAP y los siguientes vectores:

[8] La transformación logarítmica de la variable dependiente permite, por una parte, aproximar su distribución a la normal y, por otra, utilizarla en un modelo semi-log cuya principal virtud es arrojar semi-elasticidades, es decir, el impacto porcentual en la DAP producido por la variación unitaria de las co-variables.



Resumen del modelo

	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
	0,427	,183	,154	,44949

ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	9,075	7	1,296	6,417	,000 <sup>h</sup>
Residuo	40,610	201	,202		
Total	49,685	208			

Coefficientes

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizado	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
(Constante)	1,406	,332		4,234	,000
Porque es una acción socialmente ejemplar	,085	,034	,161	2,479	,014
Nivel de ingresos	7,010E-05	,000	,172	2,652	,009
Por los ahorros en la factura energética	,128	,054	,153	2,384	,018
Med_amb	,049	,020	,164	2,503	,013
Preferencia por la compra	,159	,066	,155	2,405	,017
Conocimiento_EPC	,067	,033	,133	2,061	,041
Eficiencia energética percibida de la viv. actual	,100	,050	,129	2,008	,046

Nota: Método de pasos sucesivos

Fuente: Elaboración de los autores

Tabla 7. Modelo explicativo de la DAP.

- Los hábitos sostenibles como la separación de los residuos o el uso del transporte público.
- La variable sintética “med\_amb” que recoge las tres dimensiones de comportamiento sostenible señaladas en la misma tabla.
- La priorización de la reforma energética de la vivienda actual frente a otro tipo de transformaciones funcionales/estéticas.
- Las razones que los encuestados arguyeron para estar DAP, tales como el ahorro en la factura energética, la conciencia de contaminar menos, la idea que la contaminación impacta negativamente en la salud y, sorprendentemente, la consideración de la elección de una vivienda eficiente como una acción socialmente ejemplar.
- El nivel de conocimiento de los EPC.
- El nivel de ingresos.
- Y el régimen de tenencia en propiedad de la vivienda ofrecida.

La Tabla 7 detalla los resultados del modelo de regresión; su ajuste es muy modesto ( $R^2_{aj}=15,4\%$ ), aunque es estadísticamente significativo (Sig. ANOVA=0,000). De acuerdo con los coeficientes beta, construidos con las variables estandarizadas, el principal elemento explicativo de la DAP es el nivel de ingresos: por cada 1.000 euros que incrementa la renta familiar disponible, la DAP incrementa un 7%. A continuación, entra el indicador sintético de hábitos medioambientalmente sostenibles (Med\_amb): por cada escalón que incrementa dicho indicador, la DAP incrementa un 4,9%. Más adelante aparece el nivel de acuerdo con el hecho de que la elección de una vivienda eficiente es una acción socialmente ejemplar: por cada escalón que incrementa dicho nivel, la DAP crece un 8,5%. La preferencia del régimen de tenencia en compra entra con el signo positivo esperado y con un impacto del 15,9%. En un mismo nivel de importancia aparece la justificación del sobrepago por los ahorros en la factura energética. Finalmente, el modelo introduce el nivel de conocimiento de los EPC y la eficiencia energética percibida de la actual vivienda.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La Directiva de Eficiencia Energética de Edificios (2002/91/EC refundida en la EPBD 2010/31UE) apuesta por la promoción de edificios eficientes a través del fomento de transacciones inmobiliarias energéticamente informadas. Por esta razón, dicha política ha hecho universal los *Energy Performance Certificates* (EPC) en ocasión de la venta y alquiler de prácticamente todo tipo de inmuebles. Así, dicha Directiva parte de la hipótesis que la demanda prefiere los edificios cuyos sistemas activos y pasivos permiten ahorrar energía sin sacrificar el confort, de forma que dichos ahorros se reflejan en una mayor disponibilidad a pagar (DAP). De esta forma, la DAP es capaz de eclipsar los sobrecostes de la construcción con mejores prestaciones energéticas y, por tanto, incentiva la producción y reforma energética en el marco de un mercado competitivo.

En España, la tardía adopción de la Directiva *íntegramente* transpuesta en el RD 235/2013 y la llegada de la crisis han producido muy pocas transacciones de viviendas energéticamente eficientes en donde observar la DAP. Por ello, esta investigación acude a la valoración contingente (VC) basada en encuestas de tipo sociológico para evaluar: 1) el nivel de conocimiento de los EPC por parte de los hogares, 2) la DAP por las viviendas más eficientes, y 3) las razones que subyacen a dicha disposición de pago.

Los resultados, en relación a los objetivos, sugieren que:

En general, existe un desconocimiento de lo que miden los EPC, que parece estar correlacionado con un bajo nivel educativo y con la edad de las personas. Sin embargo, el desconocimiento del esquema certificador adoptado por la UE no es baladí, puesto que tiene una directa relación con las intenciones de pago por las viviendas más eficientes. Por tanto, no basta con regular el esquema certificador, sino que es necesario que *todas* las personas comprendan cabalmente su significado. Solamente a través de una mejor información y educación se podrá alcanzar el objetivo perseguido por la política energética, como ya ha discutido Ramos *et al.* (2015).

Por otra parte, las personas prefieren ser informadas del consumo energético y de las emisiones de CO<sub>2</sub> en unidades comprensibles (en euros y no en kWh para el consumo energético o unidades más tangibles como los árboles que se necesitan para absorber el dióxido de carbono). Estas preferencias también están influidas por el nivel de estudios y la edad: cuanto más formadas están las personas y más jóvenes son, las unidades técnicas (kWh y toneladas) ganan seguidores frente a las "ilustrativas

1. ". La falta de comprensión de los EPC y sus unidades no se limita a España: en el Reino Unido, Lainé (2011) advirtió que los EPC no son del todo entendidos porque su diseño está pensado en los expertos en energía y no

en los hogares. Para superar estos escollos, en Francia se han creado servicios especializados de asesoramiento energético. Así, La Agencia del Ambiente y la Gestión de la Energía ha organizado un grupo de 500 expertos que brindan este servicio a través de *Espaces Infos Energies*. En algunos Länder austriacos más del 50% de las viviendas se benefician de la consultoría de energía, que incluye una explicación exhaustiva del rol y funcionamiento de los EPC. En definitiva, los expertos señalan que los EPC deben proveer información en un lenguaje asequible, que permita conocer la incidencia de la eficiencia energética en la economía familiar y en el medio ambiente (*ibídem*).

Del conjunto de encuestados, la inmensa mayoría (78%) está dispuesta a realizar un pago adicional por una mejora en la eficiencia energética. Quienes no están DAP argumentaron, en primer lugar, una desconfianza en el esquema certificador EPC en relación a los ahorros en la factura energética y las emisiones de CO<sub>2</sub>; desconfianza que está, cabe recordar, correlacionada con el desconocimiento de los EPC. Efectivamente, dicho desconocimiento del esquema certificador genera desconfianza en él, lo que, a su vez, produce una infravaloración de las viviendas más eficientes.

2. La DAP media equivale a 30,58 euros adicionales/mes en el alquiler/cuota hipotecaria por el cambio "E"->"A". Si se actualiza este sobrepago, el equivalente<sup>9</sup> asciende a 8.219 euros para el apartamento de 81,5 m<sup>2</sup> ofrecido. Esta conclusión, derivada de las preferencias declaradas de la demanda, resulta complementaria de la de Marmolejo (2016) quien, usando un modelo hedónico, ha evidenciado que en Barcelona la oferta está dispuesta a ser compensada con 8.069 por un apartamento clase "A" en relación a otro de clase "G", manteniendo el resto de variables constantes. Ahora bien, esta comparación debe hacerse con cautela, porque en el caso aquí expuesto se trata de una vivienda de reciente construcción ubicada en el centro metropolitano, mientras que, en el suyo, se trata del sobreprecio medio de oferta de todo tipo de viviendas en la metrópoli.

3. Mediante un análisis econométrico (regresión *log-lin*) se ha identificado los factores socio-demográficos, residenciales y de conciencia ambiental que explican la DAP. En tal sentido, el principal elemento explicativo es el nivel de renta y le sigue un indicador sintético de los hábitos ambientalmente sostenibles de los encuestados (el uso del transporte público, la separación de residuos y el ahorro de energía). Sorprendentemente, en tercer lugar, se observa que el uso de viviendas sostenibles es percibido como una acción ejemplar frente a la sociedad. Este hallazgo es indicativo de la existencia de una recompensa psicológica derivada del consumo de bienes etiquetados como sostenibles. El régimen de tenencia preferido también tiene una incidencia sobre la DAP, de modo que quienes prefieren comprar en vez de alquilar, están

[9] Para ello se aplica el método de actualización, considerando una tasa equivalente mensual de una anual del 4,5%, que es la típica del mercado plurifamiliar de primera residencia y para vivienda de reciente construcción en la zona; y una vida económica útil de 100 años, según el criterio de la orden ECO 805/2003.

dispuestos a realizar un pago adicional. Esta conclusión representa un verdadero reto para las políticas de vivienda recientes que han apostado por el alquiler, puesto que las personas encuestadas continúan viendo la compra como una inversión por la que vale la pena hacer un esfuerzo de pago adicional que, a la vista de los resultados, no merece el alquiler. En último lugar entran en el modelo el ahorro en la factura energética y el nivel de conocimiento de los EPC.

En suma, detrás de la disposición de pago no sólo hay factores financieros, como el nivel de renta o los costes energéticos evitados, sino también sociales. La preservación del medio ambiente y la percepción positiva del consumo de bienes sostenibles son elementos que subyacen a las intenciones de pago de las personas y representan verdaderas recompensas psicológicas que la Administración debe aprovechar para maximizar el impacto de política energética. Por su parte, el nivel de conocimiento de los EPC y la sobrevaloración del régimen en propiedad frente al alquiler también inciden en las decisiones de pago y, por ende, sugieren la integración de la política energética en el contexto más amplio de la política de vivienda. Estos elementos también indican la existencia de un nicho de mercado de viviendas sostenibles a ser explotado por los promotores inmobiliarios.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMECKE, Hermann. The impact of energy performance certificates. A survey of German home owners. *Energy Policy*, 2012, vol. 46, pp.4-14. [Consultado 21 junio 2017]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.01.064>

BARBOZA, Marcos. *Evaluación de costes y beneficios de una mayor cualificación energética en el mercado residencial de nueva planta en Barcelona*. Tesis de máster. Universidad Politécnica de Cataluña, UPC, Barcelona, 2016.

CE. *Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo relativa al rendimiento energético de los edificios (refundición)* [en línea], 2008. [Consultado 21 junio 2017]. Disponible en: <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2008/ES/1-2008-780-ES-F1-1.Pdf>

DASCALAKI, Elena G.; KONTOYIANNIDIS, Simon; BALARAS, Constantinos A. y DROUTSA, Kalliopi G. Energy certification of Hellenic buildings: First findings. *Energy and Buildings* [en línea], 2013, n° 65, pp. 429-437. [Consultado 21 junio 2017]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.06.025>

DE AYALA, Amaia; GALARRAGA, Ibon y SPADARO, Joseph V. The price of energy efficiency in the Spanish housing market. *Energy Policy* [en línea], 2016, vol. 94, pp. 16-24. [Consultado 21 junio 2017]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.03.032>

EPBD. *Energy performance of buildings* [en línea], 2010. [Consultado 21 junio 2017]. Disponible: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1\\_en\\_act\\_part1\\_v10.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_en_act_part1_v10.pdf)

FUERST, Franz; MCALLISTER, Patrick; NANDA, Anupam y PETER, Wyatt. Does energy efficiency matter to home-buyers? An investigation of EPC ratings and transaction prices in England. *Energy Economics* [en línea], 2015, vol. 48, pp. 145-156. [Consultado 21 junio 2017] DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.12.012>

GARCÍA-HOOGHUIS, Alejandra y NEILA, Francisco Javier. Modelos de transposición de las Directivas 2002/91/CE y 2010/31/UE "Energy Performance Building Directive" en los Estados miembros de la UE. Consecuencias e implicaciones. *Informes de la Construcción* [en línea], 2013, vol. 65, n° 531, pp. 289-300. [Consultado 21 junio 2017]. DOI: <https://doi.org/10.3989/ic.12.017>

GARCÍA-NAVARRO, Justo; GONZÁLEZ-DÍAZ, María Jesús y VALDIVIESO, M. Estudio Precost&e: evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la calificación energética en un edificio de viviendas situado en Madrid. *Informes de la Construcción* [en línea], 2014, vol. 66, n° 535, 1-10. [Consultado 21 junio 2017]. DOI: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.13.052>

LAINÉ, Liz. *Room for improvement: The impact of EPCs on consumer decision-making* [en línea]. London: Consumer Focus, 2011. [Consultado 21 junio 2017] Disponible en: [http://www.epcmortgage.org.uk/assets/uploads/documents/ConsumerFocus\\_Room-for-improvement.pdf](http://www.epcmortgage.org.uk/assets/uploads/documents/ConsumerFocus_Room-for-improvement.pdf)

MARMOLEJO-DUARTE, Carlos. La incidencia de la calificación energética sobre los valores residenciales: un análisis para el mercado plurifamiliar en Barcelona. *Informes de la Construcción* [en línea], 2016, vol. 68, n° 543, p. 156. [Consultado 21 junio 2017]. DOI: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.16.053>

MITCHELL, Robert Cameron y CARSON, Richard T. *Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Method*. Washington, D.C.: Resources for the Future, 1989.

MUDGAL, Shailendra; LYONS Lorcan y COHEN, François. *Energy performance certificates in buildings and their impact on transaction prices and rents in selected EU countries. Final report prepared for European Commission (DG Energy)* [en línea], 2013. [Consultado 21 junio 2017]. Disponible en: <http://www.buildingrating.org/file/1566/download>

POEL, Bart; VAN CRUCHTEN, Gerelle y BALARAS, Constantinos A. Energy performance assessment of existing dwellings. *Energy and Buildings* [en línea], 2007, vol. 39, n° 4, pp. 393-403. [Consultado 21 junio 2017]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.08.008>

RAMOS, Ana; GAGO, Alberto; LABANDEIRA, Xavier y LINARES, Pedro. The role of information for energy efficiency in the residential sector. *Energy Economics* [en línea], 2015, vol. 52, pp. S17-S29. [Consultado 21 junio 2017]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.08.022>

RIERA, Pere. *Manual de Valoración Contingente*. Madrid: Instituto de Estudios Fiscales, 1994.

SOGUEL, Nils. Contingent Valuation of Traffic Noise Reduction Benefits. *Swiss Journal of Economics and Statistics*, 1996, vol. 132, n° 1, pp. 109-123.

WWF. *Potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO2 del parque residencial existente en España en 2020* [en línea], 2010. [Consultado 21 junio 2017]. Disponible en: [http://awsassets.wwf.es/downloads/informe\\_potencial\\_rehab\\_vf\\_dic2010.pdf](http://awsassets.wwf.es/downloads/informe_potencial_rehab_vf_dic2010.pdf)