

- ▲ **Palabras clave/** Planificación urbana, comportamiento térmico, eficiencia energética, diseño de barrios.
- ▲ **Keywords/** Urban planning, thermal behavior, energy efficiency, neighborhood design.
- ▲ **Recepción/** 12 de noviembre 2019
- ▲ **Aceptación/** 22 de abril 2020

Enfoque de planificación urbana basada en el desempeño térmico-energético para barrios de climas áridos

Urban planning approach based on thermal-energy performance for arid climate neighborhoods

María Belén Sosa

Arquitecta, Universidad de Mendoza, Argentina. Doctora en Ciencias, Universidad Nacional de Salta, Argentina. Magíster en Arquitectura Sostenible y Eficiencia Energética, Universidad Ramón Llull-La Salle, Barcelona, España. Becaria Postdoctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), Mendoza, Argentina. msosa@mendoza-conicet.gov.ar

Erica Norma Correa

Ingeniera Química, Facultad Regional de Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. Doctora en Ciencias, Área Energías Renovables, Universidad Nacional de Salta, Argentina. Investigadora Independiente de CONICET, Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), Mendoza, Argentina. ecorrea@mendoza-conicet.gov.ar

María Alicia Cantón

Arquitecta, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Mendoza, Argentina. Diplomada en Arquitectura, Universidad de Mendoza, Argentina. Investigadora Principal de CONICET, INAHE, Mendoza, Argentina. macanton@mendoza-conicet.gov.ar

RESUMEN/ La planificación urbana es una actividad compleja que contempla múltiples enfoques. La Planificación Basada en el Desempeño (PBP) surge como una alternativa eficiente y eficaz para lograr los resultados deseados. Este enfoque ayuda a identificar los objetivos a trabajar para disminuir los impactos ambientales que generan las áreas urbanas. El presente trabajo implementa la PBP para establecer recomendaciones de diseño que optimicen el comportamiento térmico-energético de barrios residenciales de clima árido. A través de un proceso metodológico de selección y monitoreo térmico de casos de estudio, simulación térmica y estimación del consumo de energía, se generó una matriz de relación causa-efecto entre descriptores e indicadores de la forma urbana y el impacto térmico que generan. Los resultados muestran que las recomendaciones urbanas serán distintas dependiendo de la variable de comportamiento térmico con la que se trabaje (máxima, mínima, promedio), ya que no siempre se puede dar una respuesta unívoca a los objetivos fijados. **ABSTRACT/** Urban planning is a complex activity that considers multiple approaches. Performance-Based Planning (PBP) emerges as an efficient and effective alternative to achieve the desired results. This approach helps to identify which objectives should be dealt with to reduce the environmental impacts generated by urban areas. The present article implements the PBP to establish design recommendations that optimize the thermal-energy behavior of residential neighborhoods in arid climates. Through a methodological process of selection and thermal monitoring of case studies, thermal simulation, and energy use estimates, a cause-effect relationship matrix was generated between descriptors and indicators of the urban shape and the relevant thermal impact. The results show that the urban recommendations will be different depending on the thermal behavior variable selected to work with (maximum, minimum, average), since it is not always possible to give a univocal answer to the objectives set.

INTRODUCCIÓN

Los *city shapers* o formadores de ciudad, como lo define Raynor et al. (2018) para urbanistas, arquitectos y autoridades responsables de la gestión del hábitat, juegan un papel clave en el desarrollo y la implementación de lineamientos de planificación urbana.

En las últimas décadas, estos lineamientos se orientan hacia el fomento de ciudades que mejoren la calidad del hábitat y

disminuyan los impactos ambientales que generan las áreas construidas (ONU-Hábitat 2015). Esto se explica porque la planificación urbana es una disciplina que busca mejorar el bienestar de las personas y las comunidades mediante el desarrollo de ciudades más equitativas, saludables y eficientes (Ornés 2009; Sánchez de Madariaga 2008).

Actualmente, los formadores de ciudad tienen a su disposición distintos enfoques

o criterios rectores a la hora de direccionar la planificación urbana en función del cumplimiento de determinados objetivos. En este sentido, el enfoque denominado *Performance-Based Planning* (PBP), o planificación basada en el desempeño, representa una alternativa adecuada que mejora la eficiencia y la eficacia de la toma de decisiones para lograr los resultados deseados. El enfoque PBP mezcla dos componentes; por un lado, criterios que

describen el resultado final deseado y por otro, métodos para definir estándares y límites que garanticen alcanzar el resultado final deseado (Baker et al. 2006). Existe gran variedad de pautas urbanas desarrolladas en diferentes países que implementan el enfoque PBP en los lineamientos de planificación. Estas pautas persiguen objetivos de planificación específicos, entre ellas podemos mencionar: Transect-Based Planning (DPZ 2003), Integrated Planning Act (IPA 2008), Guía del planeamiento urbanístico energéticamente eficiente (IDAE 2007) y Urbanismo ecológico (BCNecología 2016), entre otros. Estos enfoques coinciden en considerar que la forma en la que se utiliza el suelo urbano y se disponen las áreas construidas genera diversos impactos de orden ambiental, social y económico. Uno de los impactos ambientales asociados a la urbanización son las alteraciones térmicas a diferentes escalas climáticas. A escala de ciudad, la isla de calor (UHI) y el sobrecalentamiento urbano (UW) son los fenómenos más observados y medidos en todo el mundo (Suman et al. 2018; Leal Filho et al. 2017; Tsoka et al. 2017; Yan y Dong 2015; Middel et al. 2014; Mills et al. 2010; Jusuf et al. 2007; Collier 2006; Oke 1982). Ambos impactan sobre las condiciones térmicas exteriores e interiores de los edificios, aumentando el consumo de energía para acondicionamiento térmico de verano y deterioran la calidad del ambiente exterior, entre otras alteraciones (Lin et al. 2011; Salamanca et al. 2014; Kovats y Akhtar 2008). De acuerdo con los pronósticos del Banco Mundial (2017), esta demanda será cada vez mayor; según sus datos, el consumo de electricidad en América Latina y el Caribe crecerá en 80% entre 2011 y 2030. Los efectos de la UHI y el UW son aún más notables en las ciudades de clima árido debido a las condiciones térmicas extremas que se registran durante el verano. Las ciudades ubicadas en estas zonas presentan mayores tasas de urbanización

y crecimiento de la población (Naciones Unidas 2015). Es por ello que replantear los enfoques de planificación de ciudades áridas, a través de los aportes de la investigación y el análisis de casos exitosos, es una estrategia viable para mejorar la calidad ambiental del hábitat (Arup 2018). En este sentido, un clima exterior e interior desfavorable se puede mejorar a través del diseño y el desarrollo de conjuntos urbanos que se adapten y sean sensibles a las características del clima del sitio a intervenir (Keitsch 2012). Así, existen numerosas estrategias para reducir y mitigar los efectos de la UHI y el UW que los formadores de ciudad podrían implementar. Las prácticas más simples y recomendadas comúnmente para reducir el calor que absorben las diversas superficies urbanas incluyen medidas que minimizan las superficies selladas, incorporan pavimentos porosos, forestación, techos y paredes vegetadas o reflectivas, y consideran el diseño de la forma a través de la orientación de las redes viales y las alturas de los edificios (Arup 2018). En esa misma línea, Kleerekoper et al. (2012) resumen y agrupan las estrategias en cuatro categorías: (i) forma construida, (ii) materialidad, (iii) vegetación y (iv) agua. Con respecto a la forma construida, muchas investigaciones sugieren que un barrio bien planificado que considere el diseño, las dimensiones y las orientaciones de calles y manzanas puede reducir los impactos ambientales y mejorar las condiciones de habitabilidad térmica y energética (Jusuf et al. 2007; Middel et al. 2015; Sosa et al. 2018). Definir qué es una “buena” forma urbana es tema de intenso debate académico, sobre todo en lo referente a la relación entre el consumo de energía de una ciudad y su forma (Burton 2000; Camagni et al. 2002; Talen y Ellis 2002). Ko (2014) encontró que la respuesta a la pregunta resultó ser controvertida. Por un lado, los planificadores estarían de acuerdo en que la forma urbana afecta el uso de energía asociada al transporte (Lohrey y Creutzig 2016); mientras que los

arquitectos indican que el uso de la energía del edificio se puede explicar como el resultado entre la forma urbana, el diseño propio del edificio, la eficiencia del sistema de climatización y el comportamiento de los ocupantes. Recientemente, Agnesi et al. (2020) indican que dos parámetros de la forma urbana —relación de cobertura del sitio y altura promedio del edificio— son predictores confiables del rendimiento energético de los edificios insertos en diferentes tramas urbanas. En este contexto, implementar el enfoque PBP fijando el objetivo en mitigar la incidencia de las áreas urbanas sobre la temperatura exterior e interior y su impacto sobre la demanda de energía, se considera factible y valioso como herramienta para orientar el trabajo de los planificadores. De modo particular, este trabajo tiene como objetivo proporcionar recomendaciones de diseño urbano desarrolladas utilizando el enfoque PBP, con el fin de mejorar el comportamiento térmico y energético de barrios de baja densidad en contextos de clima árido, factibles de implementar en lineamientos de planificación urbana.

ANTECEDENTES DE ENFOQUES PBP

Para abordar el análisis de antecedentes se seleccionaron cuatro documentos con enfoques PBP: dos de países de habla inglesa (*Transect-based planning - Integrated Planning Act*), y dos de países de habla hispana (Guía del planeamiento urbanístico energéticamente eficiente - Urbanismo ecológico). A continuación se presentan con una breve descripción y los objetivos que plantean cada uno de ellos.

Transect-based planning

El enfoque *Transect-based planning* es de origen norteamericano e incorpora los principios de crecimiento inteligente y nuevo urbanismo. Esta ordenanza busca crear y proteger patrones de desarrollo unificados que sean compactos, transitables y de uso mixto. Se basa en reformar los patrones de expansión de la zonificación tradicional de uso separado a través de incorporar



Figura 1. Principales elementos de la ley (PBP: planificación basada en el desempeño, sistema integrado de evaluación del desarrollo) (fuente: Adaptado por las autoras de Steele y Gleeson, 2009).

diversas transectas, de rural a urbano, para mantener los asentamientos compactos y las tierras rurales. Las transectas se dividen en seis zonas que poseen características identificables, siendo estas: distrito especial, núcleo, centro, urbano general, suburbano, rural y natural. Este enfoque de planificación busca organizar los elementos físicos del urbanismo y del hábitat humano (edificaciones, lotes, calles y demás elementos) de manera que preserven la integridad de los diferentes tipos de zonas, variando el nivel de densidad urbana. Los objetivos que plantea son construcción y diseño urbano con estrategias bioclimáticas pasivas, reducción de los impactos ambientales, uso de tecnologías para el aprovechamiento de energías renovables y reparación de patrones de expansión insostenibles.

Integrated Planning Act

El propósito de esta ley de origen australiano es alcanzar la sostenibilidad ecológica mediante la coordinación e integración de la planificación a nivel local, regional y estatal, gestionar el proceso por el cual ocurre el desarrollo y los efectos sobre el medio ambiente (figura 1). El objetivo busca garantizar que los procesos

de toma de decisiones consideren el impacto que generan las urbanizaciones sobre el medio ambiente a corto y largo plazo. Además, mediante el principio de precaución, busca proporcionar equidad entre el presente y las generaciones futuras, garantizar el uso sostenible de las energías renovables, suministrar infraestructura de forma coordinada y eficiente y aplicar estándares de conservación, energía, salud y seguridad en el entorno construido que sean eficientes en función del costo (figura 2).

Guía del planeamiento urbanístico energéticamente eficiente

Esta guía, elaborada en España, busca prever y condicionar favorablemente el comportamiento energético de los edificios y la calidad ambiental del espacio urbano, considerando las condiciones climáticas particulares, la configuración dentro del territorio, la posición de los edificios, las características físicas, la relación con los espacios públicos y con los otros edificios. Para incluir las medidas a lo largo del planeamiento se estructuran las recomendaciones en: (i) modelos y usos urbanos y análisis del lugar, (ii) distribución de zonas edificables y espacios libres, (iii)

trazado de viales, (iv) forma y tamaño del lugar, (v) parcelación, (vi) sistema viario y estudio de tráfico, (vii) redes de servicios, (viii) posición de la edificación y separaciones entre edificios, (ix) forma del edificio y (x) urbanización, vegetación urbana y zonas verdes. La guía también indica que la eficiencia energética de los edificios no se alcanza solamente con estas recomendaciones, ya que solo son pertinentes para la etapa del planeamiento, siendo su consideración imperativa en las etapas de proyecto y de construcción. La figura 2 resume los mecanismos de planeamiento que propone esta guía para alcanzar su objetivo.

Urbanismo ecológico

El urbanismo ecológico desarrollado en España por BCNecología entiende la ciudad como un ecosistema y busca la integración del desarrollo urbano respetando las cualidades existentes. Establece ciertas restricciones obligatorias en el desarrollo con el objetivo de garantizar un alto grado de habitabilidad (que considera principalmente la calidad del espacio público de los ciudadanos) y de eficiencia del sistema (que implica una correcta



Figura 2. El objetivo energético en el ordenamiento territorial (fuente: Adaptado por las autoras de IDAE, 2007).

gestión de recursos y organización urbana). Para ello, utiliza un panel de indicadores de sostenibilidad que cuantifican y validan todos los aspectos urbanísticos del proyecto. Los indicadores permiten, además, comparar las variables examinadas con las de otros desarrollos. En la actualidad existe un caso de aplicación exitoso: ecobarrio en Figueres. Este enfoque posee dos instrumentos para ordenar el territorio: la supermanzana y el urbanismo en tres niveles. La supermanzana es un conjunto de varias manzanas que forman un área de 400x400m por cuyo perímetro circulan los vehículos y el transporte público. Las calles del interior quedan liberadas de vehículos, y la velocidad es de máximo 10km/h (figura 3). Por otra parte, el urbanismo en tres niveles (altura, superficie y subterráneo) propone redistribuir en varias alturas las funciones que actualmente se encuentran en la superficie. Las cubiertas de los edificios están vinculadas con la biodiversidad, la energía y el agua. El subsuelo se destina a los servicios, la distribución urbana, el estacionamiento, la movilidad masiva, al ciclo del agua y a la gestión de la energía. El suelo se relaciona con los usos, la funcionalidad y el espacio público.

Aportes de los antecedentes PBP

Los cuatro documentos analizados concuerdan en que la forma de uso de las áreas urbanas debe estar validada por decisiones que apunten a alcanzar objetivos

concretos. El *Transect-based planning* preserva la integridad de zonas urbanas y rurales según el nivel de densidad urbana. El *Integrated Planning Act* incorpora de manera activa a los agentes de Gobierno en todas sus escalas en la toma de decisiones de planeamiento urbano. La *Guía del planeamiento urbanístico energéticamente eficiente* profundiza en las medidas a considerar desde las diferentes etapas del planeamiento para alcanzar un consumo más racional de energía y de los recursos naturales. Por último, *Urbanismo ecológico* tiene en cuenta las características del emplazamiento para lograr la máxima integración y eficiencia del proyecto urbanístico. Cada enfoque PBP constituye un paradigma de gran utilidad para replicar ciertos conceptos en el área de estudio de este trabajo: Área Metropolitana de Mendoza (AMM), Argentina. Son particularmente útiles aquellos que se enfocan en consumir energía de manera racional y consideran las características climáticas particulares del emplazamiento para lograr una máxima eficiencia de los esquemas urbanos a desarrollar.

CASO DE APLICACIÓN A ESCALA DE BARRIO: DIAGNÓSTICO DE COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ENERGÉTICO

La investigación se condujo en el AMM (latitud 32.5°S, longitud 68.5°O y altitud

media 720 m.s.n.m.); su clima es de tipo árido y según la clasificación de Köppen corresponde a la categoría BSk. El estudio diagnóstico se generó en el marco del desarrollo de una tesis doctoral, donde se describe el proceso de investigación con mayor grado de detalle (Sosa et al. 2018; Sosa 2018). A continuación, se presenta una síntesis del diseño metodológico de la investigación desarrollada.

Selección y monitoreo térmico de los casos de estudio

Se escogieron tres barrios del AMM que responden a distintas tipologías de trama: Rectangular, Multi-azimutal y Cul-de-Sac. En tres puntos de cada trama se adquirieron los datos a escala microclimática (HOBO® H08-003-02 a 2m de altura) (figura 4).

Simulación térmica

Con el software ENVI-met, se construyó un modelo digital de los casos analizados. La curva de temperatura del aire que arroja como respuesta la simulación de este modelo se ajusta con la curva de la temperatura del aire resultante del monitoreo de los barrios monitoreados y, a partir de esa contrastación, se hace el ajuste del modelo digital (escenario) a fin de minimizar el error y garantizar la confiabilidad de las predicciones que resultan de la simulación. Luego, se generaron 32 “escenarios base” y 32 “escenarios optimizados”, ambos de uso residencial de baja densidad edilicia.

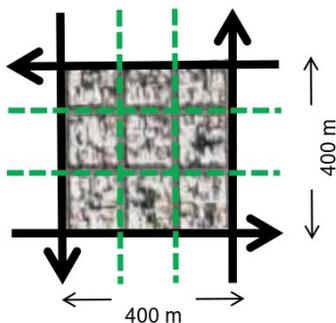


Figura 3. Supermanzana (fuente: Adaptada por las autoras de BCNecología, 2021).

Trama Rectangular Trama Multi-azimutal Trama Cul-de-Sac



Figura 4. Casos de estudio y puntos de monitoreo (fuente: Elaboración propia y Google maps, 2018).

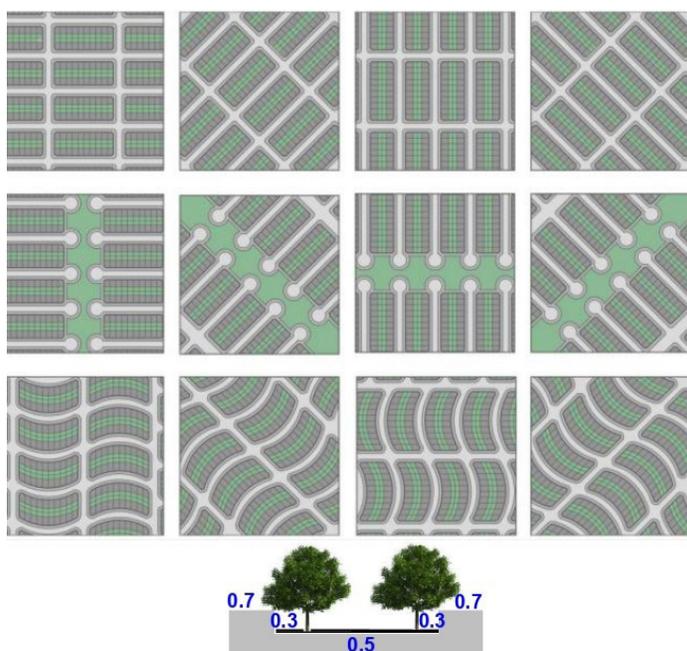


Figura 5. Escenarios de simulación (fuente: Elaboración propia, 2018).

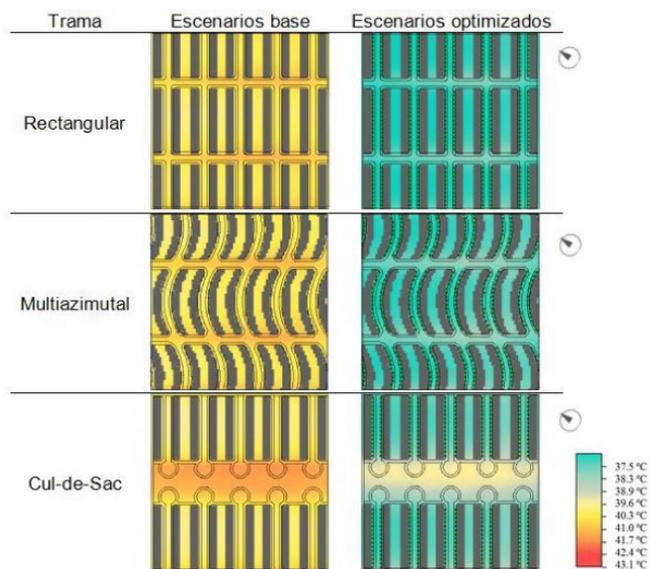


Figura 6. Termografías escenarios (fuente: Elaboración propia, 2018).

Los escenarios variaron entre forma de trama (Rectangular, Multi-azimutal y Cul-de-Sac), ancho de calle (16, 20 y 30m), orientación de calle (N-S, NO-SE, E-O y NE-SO), conservando de manera homogénea la altura de edificación de 3m.

Los “escenarios optimizados” incorporan dos estrategias de reducción del fenómeno de la UHI y el UW: Forestación urbana y mejora en los valores de albedos de los materiales de terminación de las superficies expuestas (figura 5). Para ello se seleccionó la tipología de árbol “Tb” de ENVI-met, la altura se determinó en 10m por corresponder con el desarrollo promedio de un forestal de 2° magnitud (*Morus alba*). Los valores de albedos asignados en los techos fueron de 0,7, en los muros de 0,3 y las superficies de piso de 0,5 (valores recomendados para el AMM por Alchapar 2015).

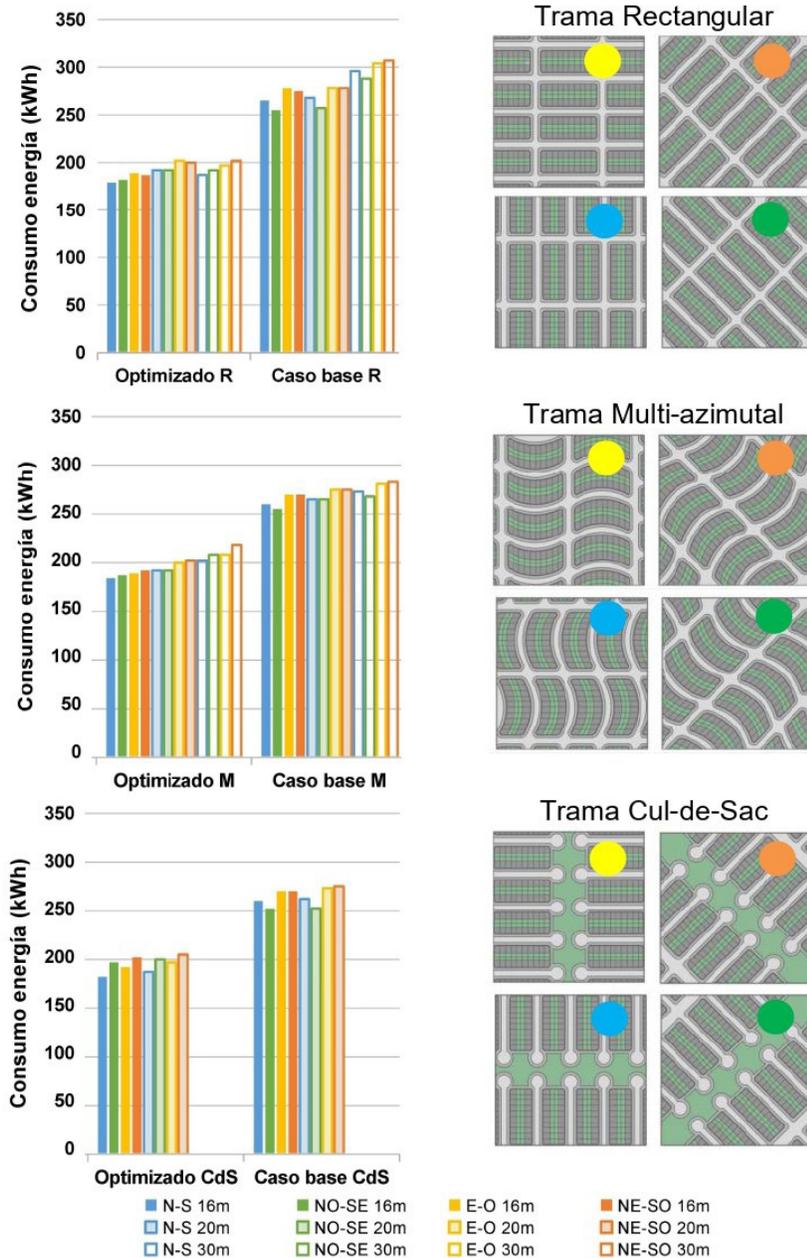
Estimación del consumo de energía

Se realizó un balance de energía en estado estacionario para calcular y diferenciar el impacto que generan los comportamientos térmicos de los diversos escenarios urbanos simulados sobre la demanda de energía auxiliar para climatizar una vivienda en verano (Sosa 2018). Cabe aclarar que esta evaluación no busca generar alternativas constructivas que mejoren el desempeño de la edificación existente; más bien, compara y analiza la demanda de energía asociada con el diseño de la forma urbana.

RESULTADOS OBTENIDOS

Comportamiento térmico

Los resultados muestran que la incorporación de las estrategias de mitigación de los fenómenos UHI y UW (forestación urbana + albedos optimizados), reducen notablemente la temperatura del aire exterior. Con la forma de trama rectangular se consiguen las mayores diferencias; en comparación con los “escenarios base”, la temperatura del aire disminuye 5,7°C en la temperatura máxima, 2,9°C en la mínima y 4,2°C en la promedio. Los escenarios con orientación N-S y NO-SE arrojan el mejor desempeño térmico.



La figura 6 presenta imágenes termográficas obtenidas con los datos de las simulaciones y la extensión Leonardo v3.7 de ENVI-met. Se muestran las imágenes correspondientes a los rangos horarios de las temperaturas máximas registradas a las 15:00 h. Se optó por graficar los escenarios con la orientación que demostró ser más fresca (NO-SE). En cuanto a las variables urbanas, se escogió el ancho de calle de 16m por ser, en términos generales, el escenario donde las estrategias de mejora alcanzan su mayor eficacia. Cabe aclarar que las imágenes no muestra de manera gráfica la verdadera orientación (rotación a 45° y -45° del eje Norte), ya que en la interfaz de ENVI-met se indica el valor en grados de la orientación.

Comportamiento energético

Los resultados nuevamente indican que la incorporación de las estrategias de mitigación (forestación + albedos optimizados), disminuye el consumo de energía entre 21% y 33% respecto del consumo de los “escenarios base”. En este sentido, las viviendas de tipo tradicional -sin diseño bioclimático ni aislación- consumirían como mínimo 21% menos energía auxiliar para climatizar los interiores en la época más demandante en ciudades con clima árido, solo por el hecho de considerar el diseño de la forma exterior. Esto pone en evidencia la importancia que tienen las decisiones de diseño y planificación de los conjuntos urbanos. En ese contexto, el escenario más eficaz corresponde a la urbanización que responde a una trama de forma rectangular, con ancho de calle de 16m, orientada en sentido N-S (consumirá 179 kWh para el acondicionamiento térmico de una vivienda de 80m² con una temperatura de confort interior de 25°C en verano). La figura 7 muestra cómo el conjunto de “escenarios optimizados” de cada forma de trama es notablemente más eficiente en términos de consumo de energía auxiliar en comparación con los “escenarios base”.

Figura 7. Consumo de energía de cada forma de trama (fuente: Elaboración propia, 2018).

AÑO	Tª MÁXIMA (°C)	Tª MÍNIMA (°C)	Tª PROMEDIO (°C)
Ancho de calle	-0.70	-0.30	0.11
Superficie construida	-0.25	-0.50	-0.41
Superficie libre	0.23	0.21	0.30
Superficie calle	-0.20	-0,32	0.20
Volumen construido	-0.25	-0.50	-0.41
SVF	0.90	-0.60	0.22

Tabla 1. Coeficientes de Pearson entre las variables de diseño y la respuesta térmica (fuente: Elaboración propia, 2018).

Indicador \ Beneficio	Temperatura máxima Mejorar la habitabilidad térmica exterior		Temperatura mínima Reducir el efecto de isla de calor		Temperatura promedio Disminuir el consumo energético interior	
	↑	↑	↑	↓	↑	↓
Ancho de calle	↑	↑	↑	↓	↑	↓
Superficie construida	↑	↓	↑	↑	↑	↓
Superficie de calles	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Superficie libre	↑	↑	↑	↓	↑	↑
Volumen construido	↑	↓	↑	↑	↑	↑
SVF	↑	↑	↑	↓	↑	↑

Referencias: ↑ aumento de indicador, ↑ aumento de temperatura, ↓ disminución de temperatura

Figura 8. Relación causa-efecto (fuente: Elaboración propia, 2018).

RECOMENDACIONES Y ESTRATEGIAS DE MEJORA TÉRMICA Y ENERGÉTICA

A partir de la sistematización de los resultados, se obtiene un conjunto de lineamientos de diseño urbano. El objetivo de estos lineamientos es generar recomendaciones de diseño para disminuir el impacto que generan las formas de urbanización sobre el clima urbano, el aumento del consumo de energía y la calidad ambiental de los espacios públicos durante el verano, puesto que la demanda aumenta en climas áridos.

Esta sistematización se realizó mediante correlaciones de Pearson para evidenciar la relación entre indicadores que caracterizan la forma urbana y la respuesta térmica (tabla 1). Los indicadores son: ancho de calle, superficie construida, superficie de

calles, superficie libre, volumen construido y factor de visión de cielo (SVF).

Con esta información se elaboró la matriz de relación causa-efecto. Se utilizan las respuestas térmicas de temperatura máxima que se relaciona con la habitabilidad térmica exterior, de temperatura mínima, vinculada con la reducción del fenómeno de la ICU y de temperatura promedio, relacionada con la disminución del consumo de energía auxiliar para climatizar los interiores en condiciones de verano (figura 8).

De la figura 8 se desprende lo siguiente:

- Ancho de calle: A mayor ancho de calle mayor es la temperatura máxima, pero menores las temperaturas mínima y promedio. Sin embargo, una orientación (NO-SE y N-S) adecuada y una buena distribución entre superficies de calle y

áreas construidas colabora a disminuir las temperaturas máximas en anchos de calle de 16m, como es el caso de los escenarios con forma de trama rectangular.

- Superficie construida: A mayor superficie construida, menores son las temperaturas máxima y promedio, pero mayor es la temperatura mínima. La trama rectangular es la de mayor superficie en comparación con las demás (área de 500 x 500m).
- Superficie de calles: A mayor superficie de calles, mayores son las temperaturas máximas y promedios; en este caso, la temperatura mínima depende del comportamiento térmico diario. Es decir que no es muy recomendable usar los anchos de calle de 30m en toda un área.
- Superficie libre: A mayor superficie libre, mayores son las temperaturas máxima y promedio, pero menor es la temperatura mínima. Una buena relación de este descriptor lo constituyen las superficies similares entre zonas libres y construidas en el área a intervenir (por ejemplo, en la trama rectangular de 16m que se mantiene en el orden del 40%).
- Volumen construido: A mayor volumen construido, menor es la temperatura máxima, pero mayores son las temperaturas mínima y promedio.
- SVF: A mayor factor de visión de cielo, mayores son las temperaturas máxima y promedio, pero menor es la temperatura mínima. El valor recomendable es de 0,5, ya que el ingreso de radiación se bloquea durante el día, pero permite su liberación durante la noche.

Finalmente y a modo de resumen, se aprecia que para disminuir la temperatura máxima es necesario aumentar la superficie construida y el volumen construido; para disminuir la temperatura mínima es necesario aumentar el ancho de la calle, la superficie libre y el factor de visión de cielo; y para disminuir la temperatura promedio es necesario aumentar el ancho de la calle y la superficie construida.

CONCLUSIONES

El estudio desarrollado permite identificar que el enfoque PBP es una estrategia factible de incorporar en planes de desarrollo urbano para disminuir y mitigar los impactos térmicos y energéticos que generan las áreas urbanas. Al analizar y evaluar las características particulares del

área de estudio (AMM) se pudo generar una serie de recomendaciones de diseño urbano. La matriz causa-efecto generada resume y permite identificar rápidamente que, según el objetivo deseado o el problema que se busque solucionar, se podrán implementar distintas mejoras. Además, no siempre se puede encontrar una propuesta que

permita dar respuesta unívoca a todos los objetivos. En otras palabras, habrá que conciliar y buscar puntos de equilibrio entre los objetivos deseados y las decisiones de diseño que se quiera aplicar con el fin de generar barrios eficientes desde el punto de vista térmico y energético. ▲▲▲

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alchapar, Noelia. Materiales de la envolvente urbana. "Valoración de su aptitud para mitigar la isla de calor en ciudades de zonas áridas". *Tesis doctoral* (2015).
- Arup Publications. *Cities Alive: Rethinking Cities in Arid Environments*. (2018).
- Baker, Douglas, Neil, Sipe and Brendan, Gleeson. "Performance-Based Planning: Perspectives from the United States, Australia, and New Zealand". *Journal of Planning Education and Research* 25, 396-409 (2006).
- Banco Mundial. *La energía que necesita la América Latina del futuro*. (2017).
- Burton, Elizabeth. "The compact city: Just or just compact? A preliminary analysis". *Urban Studies* 37, 1969-2006 (2000).
- Camagni, Roberto, María C., Gibelli and Paolo, Rigamonti. "Urban mobility and urban form: The social and environmental costs of different patterns of urban expansion". *Ecological Economics* 40, 199-216 (2002).
- Collier, Chris. "The impact of urban areas on weather". *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 132, 1-25. (2006).
- DPZ, Duany Plater-Zyberk & Company. *SmartCode* version 9.2. (2003).
- IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. *Guía del planeamiento urbanístico energéticamente eficiente*. (2007).
- IPA, Integrated Planning Act. *Office of the Queensland Parliamentary Counsel*. (2008).
- Jusuf, Steve, Nyuk, Wong and Emily, Hagen. "The influence of land use on the urban heat island in Singapore". *Habitat International*, 31, 232-242 (2007).
- Keitsch, Martina. "Sustainable architecture, design and housing". *Sustainable Development* 20, 141-145 (2012).
- Kleerekoper, Laura, Van Esch, M., and Tadeo, Salcedo. "How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect". *Resources, Conservation and Recycling* 64, 30-38 (2012).
- Ko, Yekang and John, Radke. "The effect of urban form and residential cooling energy use in Sacramento, California". *Environment and Planning B* 41, 573-593 (2014).
- Kovats, Sari and Rais, Akhtar. "Climate, climate change and human health in Asian cities". *Environ Urban* 20, 165-175 (2008).
- Leal Filho, Walter, Echevarria, Leyre, Victoria, Omeche and Abul Quasem, Al-Amin. "An Evidence-Based Review of Impacts, Strategies and Tools to Mitigate Urban Heat Islands". *Int. J. Environ. Res. Public Health* 14, 1600 (2017).
- Lin, Tzu Ping, Andreas, Matzarakis and Ruey-Lung, Hwand. "Shading effect on long-term outdoor thermal comfort". *Building and Environment* 45, 213-211 (2011).
- Middel, Ariane, Kathrin, Hüb, Anthony, Brazel, Chris, Martin and Subhrajit, Guhathakurta. "Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones". *Landscape and Urban Planning* 122, 16-28 (2014).
- Middel, Ariane, Nalini, Chhetri and Ray, Quay. "Urban forestry and cool roofs: assessment of heat mitigation strategies in phoenix residential neighborhoods". *Urban Forestry and Urban Greening* 14, 178-186 (2015).
- Mills, Gerald, Helen, Cleugh, Emmanuel, R., Wilfred, Endlicher, Evyatar, Erell, Gordon, Ng, E., McGranahan, A., Nickson, J., Rosenthal and Kevyn, Steemer. "Climate Information for Improved Planning and Management of Mega Cities (Needs Perspective)". *Procedia Environmental Sciences* 1 228-246 (2010).
- Oke, Timothy. "The energetic basis of the urban heat island". *Quarterly Journal Royal Meteorological Society* 108, 1-24 (1982).
- ONU-Habitat. *International Guidelines on Urban and Territorial Planning* (2015).
- Ornés, Sandra. "El urbanismo, la planificación urbana y el ordenamiento territorial desde la perspectiva del derecho urbanístico venezolano". *Politeia* 32, 197-225 (2009).
- Raynor, Katrina, Severine, Mayere and Tony, Matthews. "Do 'city shapers' really support urban consolidation? The case of Brisbane, Australia". *Urban Studies*, 55, 1056-1075 (2018).
- Salamanca, F., Matei, Georgescu, Alex, Mahalov, Moustauoi, M. and Wang, M. "Anthropogenic heating of the urban environment due to air conditioning". *J. Geophys. Res. Atmos.* 119, 1-17 (2014).
- Sánchez de Madariaga, Inés. "Esquinas inteligentes. La ciudad y el urbanismo moderno". *Madrid: Alianza Editorial* (2008).
- Sosa, Belén, Erica Correa and Alicia Cantón. "Neighborhood designs for low-density social housing energy efficiency: Case study of an arid city in Argentina". *Energy and Buildings*, 168, 137-146 (2018).
- Sosa, Belén. "Estrategias de mitigación de la isla de calor sustentabilidad ambiental y eficiencia energética de perfiles urbanos de baja densidad en zonas áridas". *Tesis Doctoral*, (2018).
- Steele, Wendy and Brendan, Gleeson. "Planning in climate change Towards a relational framework for action". *Urban Research Program*, research paper 26 (2009).
- Suman, Patra, Sahoo, Satiprasad, Mishra, Pulak and Chandra, Subhash. "Impacts of urbanization on land use/cover changes and its probable implications on local climate and groundwater level". *Journal of Urban Management* 7, 70-84 (2018).
- Talen, Emily and Cliff, Ellis. "Beyond relativism: Reclaiming the search for good city form". *Journal of Planning Education and Research* 22, 36-49 (2002).
- Tsoka, Stella, Katerina, Tsikaloudaki and Theodoros, Theodosiou. "Urban space's morphology and microclimatic analysis: a study for a typical urban district in the Mediterranean city of Thessaloniki, Greece". *Energy and Buildings* 156, 96-108 (2017).
- United Nations. "World Urbanization Prospects: The 2014 Revision". *New York: United Nations* (2015).
- Yan, Haid and Li Bao Dong. "The impacts of land cover types on urban outdoor thermal environment: the case of Beijing, China". *Journal of environmental health science & engineering* 13, 1-7 (2015).