

---

# VIVIENDA Y COMUNIDADES SUSTENTABLES



Julio - Diciembre 2022 Año. 6 Núm. 12

Universidad de Guadalajara  
Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables

12



REVISTA CIENTÍFICA

---

# VIVIENDA Y COMUNIDADES SUSTENTABLES

Julio-Diciembre 2022 Año 6 Núm. 12  
ISSN: 2594-0198

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i11>



LABORATORIO NACIONAL DE VIVIENDA  
Y COMUNIDADES SUSTENTABLES



Universidad de Guadalajara  
Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables

## Directorio

### UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

*Rectoría General* Ricardo Villanueva Lomelí  
*Vicerrectoría Ejecutiva* Héctor Raúl Solís Gadea

### CENTRO UNIVERSITARIO DE ARTE, ARQUITECTURA Y DISEÑO

*Rectoría* Francisco Javier González Madariaga  
*Secretaría Académica* Isabel López Pérez  
*Secretaría Administrativa* Everardo Partida Granados

### EQUIPO EDITORIAL

*Director responsable* Fernando Córdova Canela  
*Editor en jefe* José Arturo Gleason Espíndola  
*Editora adjunta* Alejandra Villagrana Gutiérrez  
*Coordinación editorial* Celina Yunuén Castillo Moya  
*Asistente editorial* Carolina Ávila Escobedo

### COMITÉ EJECUTIVO

Gabriel Castañeda Nolasco (Universidad Autónoma de Chiapas-México), Elvira Maycotte Pansza (Universidad Autónoma de Ciudad Juárez-México), Alberto Muciño Vélez (Universidad Nacional Autónoma de México), José Manuel Ochoa de la Torre (Universidad de Sonora-México), María Guadalupe Alpuche Cruz (Universidad de Sonora, México), Glenda Bethina Yanes Ordiales (Universidad de Sonora-México) y Mariana Villada Canela (Universidad Autónoma de Baja California, México).

### CONSEJO EDITORIAL

Domingo Acosta (Universidad Central de Venezuela, Venezuela), Tanuja Ariyananda (Lanka Rain Water Harvesting Forum, Sri Lanka), Carlos Mauricio Bedoya Montoya (Universidad Nacional de Colombia, Colombia), Guillermo Boils Morales (Universidad Nacional Autónoma de México, México), Luis Humberto Buitron Aguas (Universidad Central de Ecuador, Ecuador), Nájila Cabral (Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de Ceará, Brasil), Adeildo Cabral da Silva (Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de Ceará, Brasil), César Augusto Casiano Flores (Katholieke Universiteit Leuven, Bélgica), Helena Coch Roura (Universitat Politècnica de Catalunya, España), Jorge Daniel Czajkowski (Universidad Nacional de La Plata, Argentina), Evandro Fiorin (Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil), Jorge Alberto Galindo Díaz (Universidad Nacional de Colombia, Colombia), Yokasta Inmaculada García Frómata, Pontificia (Universidad Católica Madre y Maestra, República Dominicana), Elena García Nevado (Université de Pau et des Pays de l'Adour, Francia), Tomás García Salgado (Universidad Nacional Autónoma de México, México), José Guerra Ramírez (Universidad Católica del Norte, Chile), Luis Fernando Guerrero Baca (Universidad Autónoma Metropolitana - Xochimilco, México), Agustín Hernández Aja (Universidad Politécnica de Madrid, España), Néstor Saúl López Irías (Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua), Denis Leonardo Mayta Ponce (Universidad Católica San Pablo, Perú), Eloy Méndez Sainz (Universidad Autónoma de Puebla, México), Alicia Mimbacas (Universidad de la República, Uruguay), Carlos Freddy Miranda Zuleta (Universidad Católica del Norte, Chile), Tomas Antonio Moreira (Universidad de São Paulo, Brasil), Roberto Adrián Moreno García (Universidad Autónoma de Chile, Chile), Laura Munguía Sánchez (Universidad Técnica de Košice, Eslovaquia), Adolfo Narváez Tijerina (Universidad Autónoma de Nuevo León, México), Sergio Nasarre Asnar (Universidad Rovira i Virgili, España), Mara Regina Pagliuso Rodrigues (Instituto federal de São Paulo, Brasil), Nuria Pérez Gallardo (Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil), Ingrid Ethel Roche Lowczy (Universidad de la República, Uruguay), Ricardo Víctor Rodríguez Barbosa (Universidade Federal de Alagoas - UFAL, Brasil), Isabel Rodríguez Chumillas (Universidad Autónoma de Madrid, España), Gilkauris María Rojas Cortorreal (Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, República Dominicana), Ariel Sergio Ruchansky Lemes (Universidad de la República, Uruguay), Marco Schmidt (Universidad Tecnológica de Berlín, Alemania), Mónica Marcela Suárez Pradilla (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Colombia), Isabel Valdivia Fernández (Universidad De La Habana, Cuba), Humberto Varum (Universidad de Porto, Portugal), Martín Franz Wieser Rey (Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú).

*Vivienda y Comunidades Sustentables*, Año 6, Núm. 12, julio-diciembre 2022 es una publicación digital, en forma semestral editada por la Universidad de Guadalajara a través del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables (LNVCS) Conacyt del Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño. Ubicada en Calzada Independencia Norte 5075, Edificio LNVCS, Col. Huentitán el Bajo, C.P. 44250, Guadalajara, Jalisco, México. Tel. (+52 33)1202-3000 Ext. 38783 revista.lnvc@gmail.com Dirección web: <http://www.revistavivienda.cuaad.udg.mx>. Editor Responsable: José Arturo Gleason Espíndola. Reserva de Derecho al Uso Exclusivo: 04-2016-1115122500-203. ISSN: 2594-0198, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Fecha de publicación: 01 de julio de 2022.

Las opiniones y los comentarios expresados por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

### ACERCA DE LA REVISTA

La Revista *Vivienda y Comunidades Sustentables*, es un espacio de difusión del conocimiento científico y tecnológico original en materia de vivienda y comunidades sustentables, que considera a este binomio como un objeto de estudio complejo, cuyos procesos inciden de manera importante en los procesos de la ciudad y el territorio, por lo tanto su estudio puede llevarse a cabo desde diferentes disciplinas y con distintos alcances, desde su estudio como área de conocimiento que requiere de la atención por parte del sector industrial, que requiere ser considerado como un derecho humano fundamental y como una oportunidad para coadyuvar la sustentabilidad en sus diferentes acepciones y escalas de intervención urbana y territorial. Esta revista busca generar un espacio de difusión del conocimiento, con un enfoque innovador, plural, experimental y multidisciplinar, y se encuentra vinculada con el Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables Conacyt, al formar parte de su estrategia editorial.

# Contenido

<b>Editorial</b>	7
<b>José Arturo Gleasón Espíndola</b>	
<b>Artículos Científicos</b>	
Una revisión sobre la isla de calor urbana y sus particularidades en zonas desérticas de México <b>Irene Marincic Lovriha</b>	9
Relación entre la intensidad de uso de energía y la morfología urbana: densificación como estrategia de mitigación del cambio climático <b>Fátima Anahí Córdova Borbón y María Guadalupe Alpuche Cruz</b>	27
Aplicaciones de la modelación energética de edificaciones: revisión y casos de estudio en México <b>Jorge Lucero Álvarez, Nathalie Socorro Hernández Quiroz y Jesús Ángel Estrada Ayub</b>	55
Proyección electrificada del consumo energético residencial: México y la meta global de temperatura de 1.5° C <b>Christian Hernández Cárdenas y David Carlos Ávila Ramírez</b>	81
Hábitat, territorio y tejido social en la región nororiente de la cuenca de México: el caso del espacio público de Atenco <b>Sellenne Galeana Cruz</b>	95
El derecho a la vivienda. Estudio sobre su reconocimiento e interpretación <b>Luz Ileana Jiménez Pineda y Maridalía Rodríguez Padilla</b>	117
Evaluación de un sistema de captación de agua de lluvia en una empresa de León, Guanajuato <b>Daniel Tagle Zamora, Alex Caldera Ortega y Juan Antonio Rodríguez González</b>	147
<b>Reseña</b>	
Libro: El arte y la ciudad: Posibilidades del arte en el espacio público <b>Alejandra Villagrana Gutiérrez</b>	165
<b>Acerca de los autores</b>	169



## Editorial

**JOSÉ ARTURO GLEASÓN ESPÍNDOLA**

La Revista de Vivienda y Comunidades Sustentables es un espacio de difusión del conocimiento científico y tecnológico original en materia de vivienda, desarrollo urbano, políticas públicas y comunidades sustentables. Esta revista trata sobre otros temas vinculados considerados objetos de estudio complejos, cuyos procesos forman parte de la ciudad y el territorio, de modo que pueden ser reinterpretados desde distintas perspectivas: desde el sector industrial, como un derecho humano fundamental y como una oportunidad para coadyuvar a la sustentabilidad a escalas urbana y territorial, desde un enfoque innovador, plural, experimental y multidisciplinar, que forma parte de la estrategia editorial del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables del Conacyt.

Este duodécimo número lo integran siete artículos relacionados por un lado con isla de calor urbana, planeación energética, eficiencia energética y energías renovables; por otro, se tocarán temas sobre espacio público, el derecho a la vivienda y captación de agua de lluvia; así como una reseña de libro.

En el primer artículo se expone el fenómeno de la isla de calor urbana en general y se profundiza en el fenómeno que tiene lugar en ciudades desérticas, evidenciando las circunstancias ambientales

particulares de las ciudades desérticas, relacionadas con el impacto de la isla de calor urbana, y las condiciones de habitabilidad de sus residentes; asimismo, se analizan las dificultades en la aplicación de las estrategias de mitigación. El trabajo aporta una visión actual sobre las circunstancias ambientales en que se encuentran las ciudades mexicanas en el desierto, evidencia las duras circunstancias de la población para adaptarse al clima local, en especial la más vulnerable, y destaca y particulariza el reto de las ciudades desérticas para mitigar los efectos de la isla de calor.

En el segundo trabajo se plantea el objetivo de analizar el impacto de la isla de calor en la intensidad de uso de energía (IUE) de las viviendas del clima cálido seco y su relación con los parámetros de densidad, con la finalidad de fundamentar la viabilidad y mejorar las herramientas de análisis y toma de decisiones para el diseño de ciudades con mayor resiliencia. Esta investigación aporta en el diseño estrategias de crecimiento de las ciudades de clima cálido seco, evaluando niveles de densificación y estableciendo parámetros de análisis a través de una metodología experimental.

Por su parte, en el tercer artículo se presenta una revisión sobre la utilidad actual de dos programas de simulación que evalúan el desempeño energético de edificaciones. En el primer caso se

utilizó el programa TRNSYS para evaluar el efecto de propiedades térmicas del techo sobre el costo de la energía de un edificio. Los resultados muestran ahorros en el costo anual de la energía entre 3,288 y 5,436 pesos mexicanos al usar techos reflectivos en ciudades de las zonas térmicas 1 y 2. En el segundo caso corresponde a la calibración un modelo de simulación realizado con OpenStudio. Los resultados muestran la necesidad de detallar componentes del modelo de simulación, por ejemplo, elementos externos de sombreados, para alcanzar niveles adecuados de calibración.

El cuarto artículo tiene como objetivo analizar las tendencias del consumo energético residencial en México, y compararlas con dos escenarios de electrificación energética residencial, compatibles con el presupuesto de 1.5° C. Como conclusión de este trabajo, se expone que los resultados hacen evidente la necesidad de introducir el tema del presupuesto de emisiones de 1.5° C a la discusión de la iniciativa de reforma eléctrica, para garantizar que las políticas energéticas de México estén en concordancia con los acuerdos internacionales en la materia. La reforma del mercado eléctrico debería considerar la conformación de un mercado que no dañe las finanzas públicas, pero que a la vez impulse la generación con energías limpias y la utilización de dispositivos de almacenamiento.

La quinta contribución se basa en el objetivo de comprender la forma en que el espacio público local coadyuva al impulso de las actividades y las relaciones sociales que otorgan sentido de pertenencia e identidad al hábitat, y de esta manera se deducen elementos que sirven para la elaboración de estrategias que permitan el establecimiento del tejido social en Atenco. Esta investigación concluye que el espacio público otorga sentido de pertenencia e identidad al hábitat y se construye a partir de actividades y relaciones sociales que caracterizan tanto al ámbito rural como al urbano.

El sexto trabajo contiene un análisis de la efectividad del reconocimiento constitucional del derecho a la vivienda, a través de un estudio teórico descriptivo de los modelos de garantía del dere-

cho a la vivienda adoptados a nivel internacional y de un análisis causal de datos normativos y estadísticos de ocho países, lo que muestra que el reconocimiento del derecho a la vivienda en todo su significado y su efectividad está relacionado con otros componentes que superan el mero reconocimiento constitucional.

Mientras que el séptimo y último artículo establece como objetivo evaluar los resultados hídricos y económicos de un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) en una empresa de León, Guanajuato, mediante un estudio comparativo del comportamiento del consumo físico del agua y el pago por el servicio de abasto realizado por la empresa en dos fechas de corte entre el año previo a la implementación del SCALL y el primer año de operación del sistema. El primer año de implementación del SCALL generó una reducción de 38% en el volumen de agua que la empresa consume del servicio municipal, representando un ahorro económico en el pago del servicio de 42.3%, esto respecto al año previo a la instalación del SCALL; asimismo, el retorno de la inversión para este primer año fue de 72.7%. Este trabajo demuestra que se deben diseminar los SCALL en usuarios industriales-comerciales-servicios de León como forma alternativa de abasto descentralizada que permita reducir la extracción de agua subterránea.

Se finaliza con la reseña del libro: *El arte y la ciudad: Posibilidades del arte en el espacio público*, autoría de Alejandra Villagrana Gutiérrez, quien menciona que el centro de este trabajo es el estudio del espacio público vinculado a las transformaciones que se van suscitando en nuestro entorno urbano. En el cual expone ideas, conceptos y teorías vinculados a la categoría del arte en la ciudad, compartiendo al par experiencias por parte de distintos usuarios del espacio público en Guadalajara, buscando con ello evidenciar escenarios de apropiación e identidad.

# Una revisión sobre la isla de calor urbana y sus particularidades en zonas desérticas de México

## *An overview on urban heat island and its particularities in Mexican desert regions*

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i12.196>

**IRENE MARINCIC LOVRIHA**

Universidad de Sonora, México / ORCID: 0000-0002-8609-2748.

Correo electrónico: irene.marincic@unison.mx

Recibido: 31 de agosto de 2021. Aceptado: 19 de abril de 2022.

### RESUMEN

El fenómeno de isla de calor urbana es uno de los principales problemas de las ciudades en el siglo XXI. El calentamiento de éstas por encima de las temperaturas rurales adyacentes representa impactos negativos para los habitantes e incrementa los efectos negativos del calentamiento global. En ciudades desérticas con condiciones climáticas muy cálidas, este efecto aumenta el problema, manifestándose con aun más altas temperaturas.

En este trabajo se describe el fenómeno de la isla de calor urbana en general y se profundiza en el fenómeno que tiene lugar en ciudades desérticas, donde el balance de flujos de calor presenta características especiales.

El objetivo de este trabajo es evidenciar las circunstancias ambientales particulares de las ciudades desérticas, relacionadas con el impacto de la isla de calor urbana, y las condiciones de habitabilidad de sus residentes; asimismo, se analizan las dificultades en la aplicación de las estrategias de mitigación.

Se realizó una investigación bibliográfica, principalmente de la última década (aunque parte de la bibliografía básica es más antigua), que

evidenciara los impactos que la isla de calor puede tener sobre la ciudad, los habitantes, el medio ambiente y el planeta en general, a fin de destacar su importancia y problemática, para describir los principales conceptos y antecedentes de investigación en el tema, complementado con apreciaciones sobre las condiciones de habitabilidad en las ciudades desérticas, así como sobre las posibilidades de aplicar estrategias conocidas de mitigación. Las últimas son observaciones empíricas, derivadas de experiencias y situaciones locales en algunas ciudades, particularmente en zonas que forman parte de los desiertos mexicanos.

A fin de analizar el avance en el conocimiento sobre este fenómeno en las ciudades desérticas mexicanas, se describen algunas investigaciones, destacando los objetivos, el método empleado para su estudio y los resultados obtenidos en cuanto al diagnóstico de la problemática.

Finalmente se describen las posibles estrategias de mitigación para el fenómeno, analizando y particularizando los problemas o bien las ventajas de su aplicación en ciudades desérticas, teniendo en cuenta sus circunstancias ambientales y disponibilidad de recursos.



El trabajo aporta una visión actual sobre las circunstancias ambientales en que se encuentran las ciudades del desierto, en particular las mexicanas, evidencia las duras circunstancias de la población para adaptarse al clima local, en especial la más vulnerable, y destaca y particulariza el reto de las ciudades desérticas para mitigar los efectos de la isla de calor.

Palabras clave: isla de calor urbana, desiertos, estrategias de mitigación.

## ABSTRACT

The urban heat island phenomenon is one of the main problems of cities in the 21st century. The increase of urban temperatures above the adjacent rural temperatures has negative impacts on the inhabitants and increases the harmful effects of global warming. In desert cities, with very hot climatic conditions, this effect magnifies the problem with even higher temperatures.

This paper describes the phenomenon of the urban heat island in general, and it focuses on the phenomenon that takes place in desert cities, where the balance of heat flows has special characteristics.

This work aims to show the particular environmental circumstances of desert cities related to the impact of the urban heat island on them, and the habitability conditions of its residents. Also, the difficulties in the application of mitigation strategies are analyzed.

Bibliographical research has been carried out, mainly from publications of the last decade (although some of the basic literature is older), to describe the main concepts and background on the subject, complemented with assessments on people's habitability conditions in desert cities, as well as on the possibilities of applying known mitigation strategies. The last are empirical observations, derived from local experiences and situations in some cities, particularly in areas that are part of the Mexican deserts.

In order to analyze the knowledge advances about this phenomenon in Mexican desert cities,

some investigations are described, highlighting the objectives, the method used in each study, and the results obtained, in order to diagnose the problem.

Finally, the possible mitigation strategies for the phenomenon are described, analyzing and specifying the problems or the advantages of its application in desert cities, considering their environmental circumstances and availability of resources.

This work provides a current view of the environmental circumstances of desert cities, particularly Mexican ones, it evidences the harsh circumstances of the population to adapt to the local climate, especially the most vulnerable inhabitants, and it highlights and particularizes the challenge of desert cities to mitigate the effects of the heat island effects.

Keywords: urban heat island, deserts, mitigation strategies.

## 1. INTRODUCCIÓN

A medida que nuestra civilización avanza, se van incrementando los efectos de varios fenómenos que ocurren paralelamente, tales como el aumento de la población y el incremento de la ocupación y uso del territorio (Ali, Patnaik y Madguni, 2017), así como los efectos derivados del calentamiento y cambio climático global. A esto es necesario sumarle, a nivel urbano, el aumento de temperatura en las ciudades respecto al medio rural, lo que agrava aún más la situación. Este fenómeno es denominado isla de calor urbana, y básicamente es consecuencia de la modificación del clima urbano debido a todo tipo de actividades e intervención humanas. La isla de calor urbana está considerada como uno de los problemas más importantes de la humanidad en el siglo XXI (Shalaby, 2011).

En muchas ciudades y territorios de México y del planeta, el calentamiento global, la isla de calor urbana y sus consecuencias ya son visibles e indiscutibles (Gay García y Rueda Abad, 2015): incendios, inundaciones, huracanes más frecuentes de

lo habitual, así como territorios inundados por el ascenso del nivel del mar, entre otros efectos. Este tipo de fenómenos extremos, y la vulnerabilidad de muchos países ante ellos (como Mozambique, Zimbawe, Bahamas, Japón, Malawi, entre muchos otros) son reportados por Germanwatch en su *Global Climate Risk Index 2021* (Germanwatch, 2021). Muchos de ellos son atribuidos precisamente al cambio climático. Sus efectos son difíciles de controlar, y representan un verdadero desafío para urbanistas, arquitectos, paisajistas y autoridades, quienes tendrían que tomar las medidas necesarias para detener el avance de estos efectos (Gay García y Rueda Abad, 2015). Tanto el cambio climático como la isla de calor son en gran medida una consecuencia, de una u otra manera, de las actividades y decisiones humanas (véase sección 3.1 de este trabajo).

El aumento de las temperaturas urbanas impacta sobre diferentes aspectos de la vida: modifica las condiciones de habitabilidad de los espacios exteriores, impacta sobre el confort térmico al interior de los edificios y aumenta el consumo energético de los edificios (Önder y Akay, 2014). Las elevadas temperaturas conducen al aumento del uso del aire acondicionado (Marincic y Ochoa, 2021) durante el verano, a más emisiones de gases de efecto invernadero (Mohammed, Khan y Santamouris, 2021), así como a la emisión de calor hacia el exterior de los edificios, y por lo tanto a un incremento en la intensidad de la isla de calor urbana, lo que repite el ciclo.

En este trabajo se revisa el fenómeno de la isla de calor en general, sus causas, efectos y posibles medidas para su mitigación, a fin de poner en contexto el tema, para luego abordar el fenómeno específicamente sobre las ciudades desérticas y destacar la importancia del impacto sobre ellas. Se describen además el modo de vida de la población que habita este tipo de ciudades, sus mecanismos para sobrellevar condiciones climáticas extremas, sobre todo en el norte de México, y las condiciones de habitabilidad propiciadas por este fenómeno. Los efectos negativos de la isla de calor son más importantes en ciudades asentadas en los desiertos (climas muy cálidos y secos), que

en las zonas con clima templado o frío, especialmente durante el verano. Al mencionar desiertos, en este trabajo nos referiremos exclusivamente a los desiertos cálidos.

El objetivo de este trabajo es evidenciar las circunstancias ambientales particulares de las ciudades desérticas, relacionadas con el impacto de la isla de calor urbana, y las condiciones de habitabilidad de sus residentes; asimismo, se analizan las dificultades en la aplicación de las estrategias de mitigación.

Las islas de calor en ciudades del desierto presentan condiciones particulares por su tipo de comportamiento térmico día-noche (Lazzani, Marpu y Ghedira, 2013) y asimismo tienen una especial importancia debido a que, además de las condiciones ambientales extremas del desierto, se suma el incremento de temperatura debido al fenómeno de la isla de calor urbana (Givoni, 1998; Emmanuel y Fernando, 2007), lo cual implica un desafío climático adicional al ecosistema urbano y a sus habitantes, quienes aplican estrategias espontáneas para tratar de adaptarse al clima.

México es un territorio con grandes extensiones de clima cálido y templado; las zonas de climas fríos son escasas en comparación con el resto del país. Los climas cálidos abarcan 76.8% de territorio, y de éstos, poco más del 49% corresponde a climas cálido secos (INEGI, 1991). Los principales desiertos con los que cuenta el territorio, donde se presenta clima cálido seco, son: el desierto de Sonora, el desierto de Chihuahua y el desierto de Baja California, además existen zonas semidesérticas (INEGI, 1991). Aunado al aumento de la temperatura por el cambio climático global, se presentan las islas de calor urbanas en las ciudades en general, siendo lo más preocupante las ciudades desérticas, con clima ya de por sí desafiante en cuanto a altas temperaturas (Givoni, 1998). Es importante, por lo tanto, considerar la vulnerabilidad que presenta gran parte del territorio de México y su población ante estos cambios, y tener en cuenta a la isla de calor no sólo como fenómenos locales, sino como parte de un creciente problema nacional y por supuesto global.

Para comprender este contexto, en este trabajo se comienza por describir el tipo de metodología seguida en cada sección, se explica en qué consiste el fenómeno de la isla de calor urbana en ciudades en general, sus causas y efectos, para luego abordar el fenómeno específico en ciudades desérticas. Se explican las situaciones particulares climáticas que impactan sobre los habitantes de este tipo de ciudades y cómo los mismos hacen frente a esta situación, donde intervienen diferente tipo de mecanismos de adaptación térmica, lo que da una idea de las condiciones de habitabilidad en estos entornos. A fin de entender la situación mexicana, se incluyen y analizan algunas investigaciones referentes a este tema llevadas a cabo en diferentes ciudades desérticas de México, así como los objetivos y métodos seguidos en cada caso para su estudio. En la última sección, considerando que es necesario mostrar posibles soluciones a esta problemática, se presentan, entre las diversas propuestas de mitigación a la isla de calor, las más adecuadas para ciudades desérticas, considerando las dificultades y limitaciones específicas en estas zonas.

## 2. METODOLOGÍA

El presente trabajo de revisión parte de describir de una manera general de qué se trata el efecto de la isla de calor urbana, para luego especificar en qué difiere este fenómeno en ciudades ubicadas en desiertos, destacándose la particularidad del fenómeno en cuanto al balance de los flujos de calor diurnos y nocturnos. En los apartados donde se aborda esta temática se revisó particularmente bibliografía (principalmente de la última década, aunque para la bibliografía básica se utilizaron referencias más antiguas) que evidenciara además los impactos que la isla de calor puede tener sobre la ciudad, los habitantes, el medio ambiente y el planeta en general, a fin de destacar su importancia y problemática.

Además de las circunstancias físicas particulares, se describen algunas características del modo de vivir de la población, que trata de adaptarse a

las duras circunstancias de afrontar la habitabilidad en las ciudades desérticas, lo que se aborda con descripciones basadas en observaciones empíricas, derivadas de situaciones locales en algunas ciudades desérticas, particularmente en el norte de México y parte de Estados Unidos (en zonas que forman parte de desiertos mexicanos).

Profundizando en la situación mexicana, se efectuó una revisión bibliográfica de investigaciones relacionadas con islas de calor en ciudades desérticas de México, encontrándose como información más relevante la correspondiente a los casos ubicados en la zona geográfica de los grandes desiertos del norte de México. La bibliografía que se seleccionó fue la que respondía a la mayoría de las siguientes preguntas planteadas:

1. ¿Qué tipo de impactos sobre la ciudad se estudian?
2. ¿De qué depende la posible distribución espacial de estos impactos?
3. ¿Qué métodos de estudio se emplean?
4. ¿Cuáles son las propuestas de mitigación que se presentan?

Si bien existe un considerable número de investigaciones que responden a estas preguntas, correspondientes a casos en México, no todas son publicaciones indexadas, por lo que se tuvo que descartar parte de ellas. Ésta fue una de las principales limitaciones en la recopilación de la información.

El planteamiento del problema físico y social, así como el diagnóstico de la isla de calor en las ciudades, necesariamente tendría que derivar en información sobre propuestas de mitigación. Se seleccionan y describen estrategias empleadas en ciudades en general mediante investigación bibliográfica, las que se analizan destacando cuáles de ellas tienen limitaciones o bien ventajas en este tipo de condiciones climáticas y ambientales extremas, proponiendo posibles estrategias de mitigación de la isla de calor en ciudades desérticas. El análisis mencionado parte de observaciones sobre las problemáticas locales y opiniones personales basadas en experiencias.

En las conclusiones se resumen las principales aportaciones sobre el análisis de la temática y se proponen soluciones futuras para afrontar el problema.

Se resumen los métodos empleados en este trabajo en la tabla 1.

**TABLA 1**  
Metodología

Sección	Método
3 y 3.1	Investigación bibliográfica enfocada en conceptos e impactos de la isla de calor.
3.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Investigación bibliográfica, destacando particularidades de ciudades desérticas.</li> <li>Observación y análisis sobre modo de habitar las ciudades desérticas e impacto de isla de calor sobre la habitabilidad.</li> </ul>
4	Investigación bibliográfica sobre isla de calor en ciudades desérticas mexicanas y sus impactos.
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Investigación bibliográfica sobre propuestas de mitigación en general.</li> <li>Observaciones locales y opiniones personales sobre limitaciones en las estrategias de mitigación en ciudades desérticas.</li> </ul>

### 3. EL FENÓMENO DE LA ISLA DE CALOR URBANA

Las ciudades son producto de la transformación y la urbanización del terreno natural. Los paisajes naturales preexistentes se reemplazan por superficies pavimentadas y construcciones, muchas de ellas con bajo albedo y alta capacidad calorífica, lo que favorece el almacenamiento de calor.

El efecto de la isla de calor urbana es atribuido a las diferencias en los flujos de calor entre la zona urbana y la rural, donde las áreas urbanas típicamente absorben y almacenan más calor sensible que las rurales (Oke, 1982). Las islas de calor se generan debido al incremento de temperatura del aire en la capa dosel urbana en relación con los alrededores rurales de una ciudad. La capa dosel urbana es la capa de aire más cercana a la

superficie en las ciudades, extendiéndose hasta aproximadamente la altura de los edificios (Ouali, El-Harrouni y Abidi, 2017). En la distribución de temperaturas dentro las ciudades, las zonas más afectadas por este fenómeno son en general las más densamente pobladas, con menor cantidad de áreas verdes y con menor disponibilidad de espejos de agua en espacios abiertos, que muchas veces son las condiciones que se presentan en los centros urbanos (Mercado y Marincic, 2021; García-Cueto, Jáuregui-Ostos, Toudert y Tejada-Martínez, 2007).

Durante el día, en las zonas urbanas las superficies se calientan con la radiación solar, particularmente las de bajo albedo, y van absorbiendo y almacenando calor. Este efecto ocurre en menor medida en las zonas rurales adyacentes, sobre todo si las superficies están sombreadas o cubiertas por vegetación. Durante la noche, la situación se revierte: en ausencia de radiación solar, las superficies pueden emitir calor hacia la atmósfera y esto propicia un descenso de la temperatura. Sin embargo, en las ciudades, debido a factores como la geometría de la ciudad en general, rugosidad urbana, estrechos cañones urbanos, entre otros, que dificultan la liberación de los flujos de calor, el aire caliente queda atrapado en la capa dosel, calentando aún más las superficies urbanas, mientras que la zona rural sí tiene la posibilidad de enfriarse (Oke, 2002). Es decir, el fenómeno provoca que las ciudades tiendan a presentar temperaturas mayores que las del medio rural, tanto de día como de noche.

El escenario es un poco diferente en zonas desérticas, fenómeno que se comentará en la sección 3.2.

#### 3.1. CAUSAS Y EFECTOS

Son múltiples las causas del fenómeno de la isla de calor urbana, debido tanto a factores controlables como incontrolables. Entre los factores que se pueden considerar incontrolables existen fenómenos temporales que afectan la temperatura, como cambios en los patrones de viento y la nubosidad, además de características propias de la geografía urbana, como su topografía y su

cercanía a cuerpos de agua (Ouali et al., 2017). Los factores controlables, que dependen más de decisiones humanas, son el tamaño de la ciudad, su densidad, la ocupación del territorio, la geometría urbana (Berardi y Wang, 2016) y orientación de las calles, la proporción H/W (H: altura y W: ancho) del cañón urbano (street canyon) (U. S. Environmental Protection Agency, 2012), el factor de vista del cielo (sky view factor), así como los materiales que conforman sus superficies (O'Malley, Piroozfarb, Farr y Gates, 2014), particularmente las más expuestas a la radiación solar, como pavimentos de calles, estacionamientos y techos de las edificaciones. En este aspecto cumplen un rol principal las propiedades térmicas de los materiales como el albedo, la absorptividad, la capacidad calorífica y la conductividad de las superficies. Los materiales con bajo albedo, alta absorptividad y alta capacidad calorífica propician el almacenamiento de energía térmica y dificultan la emisión del calor durante la noche, lo que hace mucho más difícil enfriar las superficies y el ambiente. Por el contrario, las áreas verdes urbanas y techos verdes, provistos de abundante vegetación que sombrea superficies, ya sea con árboles o con cobertura vegetal, contribuyen al menor calentamiento y almacenamiento de calor en las superficies (Venhari, Tenpiek y Taleghani, 2019).

Por otro lado, en ciudades grandes y densas, con alta concentración de actividades humanas, el calor antropogénico proveniente de las actividades industriales, del tráfico vehicular y de la emisión de calor de los equipos de aire acondicionado, entre otras, aportan una sustancial cantidad de calor al ambiente urbano (Soudoudi, Shahrhohamadi, Vollack, Cubasch y Che-Ani, 2014).

En cuanto a los efectos de la isla de calor urbana, son tanto positivos como negativos (tabla 2). Algunos de los efectos positivos son la mayor duración de periodos de crecimiento de algunos cultivos o temperaturas más benignas durante el invierno (Givoni, 1998). Esto último puede ser favorable o no, dependiendo del tipo de clima específico.

Sin embargo, la gran mayoría de los efectos son negativos. Se mencionan a continuación algunos

de ellos (Arabi, Sharidan, Kamal, Bin Ja'afar y Rakhshandehroo, 2015):

- Incremento del consumo de energía eléctrica (Sedaghat y Sharif, 2022) por aire acondicionado y refrigeración, sobre todo durante la temporada de calor, en todo tipo de edificios.
- Incremento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y contaminantes (O'Malley, Piroozfarb, Farr y Gates, 2014), debido a que muchas de las compañías de suministro de energía eléctrica, que todavía operan con combustibles fósiles, contaminan el ambiente y aumentan el efecto invernadero.
- Serias afectaciones a la salud de las personas (U. S. Environmental Protection Agency, 2012) debido al aumento de las temperaturas diurnas, la disminución del potencial de enfriamiento nocturno y la presencia de contaminantes en la atmósfera, que contribuyen a la falta de confort térmico interior y exterior, problemas respiratorios, agotamiento y calambres, golpes de calor, entre otras enfermedades relacionadas con el calor, e incluso la muerte, además de estrés en las personas, conductas antisociales, y en algunos casos aumento de la violencia doméstica. También cabe destacar, como consecuencia de los impactos en la salud, la disminución del rendimiento laboral y escolar y el aumento de ausencias en el trabajo y las actividades académicas.
- Aumento de la demanda de agua, sobre todo en ciudades desérticas, lo que incrementa a su vez el consumo de electricidad, necesaria para su bombeo y distribución (Shalaby, 2011).
- Cambios en el clima local de las ciudades, modificando patrones de viento y régimen de lluvias.
- Impactos importantes sobre el calentamiento global, ya que la creciente proporción de terreno urbanizado en el mundo contribuye con sus islas de calor y generación de gases de efecto invernadero al calentamiento de todo el planeta. Por lo tanto, contribuir a mi-

mitigar los efectos de la isla de calor ayuda a mitigar los efectos del calentamiento global.

**TABLA 2**

Efectos de la isla de calor urbana

Tipo de efecto	Efecto
Positivo	Mayor duración de periodos de crecimiento de cultivos.
	Inviernos más benignos (Givoni, 1998).
Negativo	Incremento de consumo de energía eléctrica, particularmente de aire acondicionado y refrigeración (Sedaghat y Sharif, 2022).
	Incremento de GEI y contaminación por la mayor generación de electricidad (O'Malley et al., 2014).
	Afectaciones a la salud física y mental (problemas respiratorios, agotamiento, calambres, estrés, conductas antisociales, disminución de rendimiento laboral y académico) (U. S. Environmental Protection Agency, 2012) y discomfort térmico.
	Aumento de la demanda de agua y consecuentemente de consumo eléctrico (Shalaby, 2011).
	Cambios en el clima local de las ciudades.
Impacto sobre el calentamiento global.	

Por lo expuesto, la formación de islas de calor urbanas es preocupante en cualquier clima, pero lo es más aún en zonas desérticas, donde el clima es ya de por sí extremo. A continuación se describirán particularidades de este tipo de clima.

### 3.2. ISLA DE CALOR URBANA DE LAS ZONAS DESÉRTICAS Y LA HABITABILIDAD EN SUS CIUDADES

Los ambientes desérticos naturales se caracterizan por amplias oscilaciones diarias de temperatura, baja humedad y, dependiendo de la época del año, en ocasiones fuertes vientos. En la ciudades ubicadas en regiones de desiertos cálidos, donde las temperaturas y la radiación solar son muy elevadas durante el día, las modificaciones en el clima urbano debidas a la isla de calor pro-

vocan estrés térmico adicional al ecosistema urbano (Middel, Häbb, Brazelc, Martind y Guhathakurtae, 2014).

En estas zonas, áridas y muy calurosas, donde es habitual que las temperaturas máximas diarias en verano alcancen entre los 40° y 45° C (García García, 2017) (con máximas extremas de hasta 50° C), el fenómeno de isla de calor tiene características un poco diferentes que en otros climas. En estas regiones la radiación solar es extremadamente alta, los cielos despejados permiten un gran calentamiento de las superficies durante el día y hay escasa humedad en el ambiente. Bajo estas circunstancias, durante el día el suelo natural del desierto abierto, sin vegetación, se calienta a altas temperaturas y transmite calor por convección al aire próximo a la superficie (Oke, 2002). Lo mismo sucede con las superficies urbanas, aunque en este último caso debido a que parte de las superficies pueden estar sombreadas y a que probablemente exista un poco más de evapotranspiración, por la vegetación irrigada, la ciudad alcanzará menores temperaturas (Lazzani et al., 2013). Esto provoca, durante el día, un relativo efecto "oasis" en la ciudad, presentándose el fenómeno de isla fría urbana, causada por sumideros de calor (Nassar, Blackburn y Whyatt, 2017; López, Navarro, Díaz y Navarro-Estupiñán, 2021), en muchos casos debido a la presencia de vegetación. Los cuerpos de agua, si los hubiera, pueden contribuir significativamente al enfriamiento mediante su habilidad de perder calor por evapotranspiración (Nassar et al., 2017; Venhari et al., 2019).

Durante la noche el desierto circundante libera los flujos de calor hacia la atmósfera, donde frecuentemente el cielo está totalmente despejado, enfriándose. Sin embargo en la ciudad, debido a bajos factores de vista del cielo, su geometría urbana y menores velocidades de viento, disminuye el potencial de enfriamiento radiativo y convectivo, y el calor queda en gran medida atrapado en su superficie y capa dosel. Por esto, en las ciudades desérticas la isla de calor se considera un fenómeno nocturno (Lazzani et al., 2013).

Los habitantes de estas regiones tratan de adaptarse al clima y llevar a cabo sus activida-

des de la mejor manera posible. Los mecanismos adaptativos para afrontar las condiciones climáticas pueden abarcar varios tipos de ajustes: cambios fisiológicos para mantener el balance térmico entre cuerpo y ambiente (por ejemplo la sudoración), el mecanismo de aclimatación, mecanismos de adaptación conductual (cambios en vestimenta, de actividad, de consumo de alimentos y bebidas, moverse a otro sitio, abrir o cerrar ventanas, ajustes culturales como la siesta, entre otros), hasta ajustes psicológicos como acostumbramiento y menores expectativas (Brager y de Dear, 1998; Nicol, Humphreys y Roaf, 2012). Varios de estos mecanismos pueden observarse en la población de las regiones mencionadas. En algunas ciudades de los desiertos, particularmente del norte de México, la gran amplitud de las calles y espacios exteriores urbanos dificultan la movilidad peatonal, así como la socialización en espacios exteriores. Debido a las altas temperaturas y radiación solar durante el verano, puede observarse cómo las personas suelen desplazarse entre las escasas sombras de los árboles, pérgolas y pórticos, a fin de minimizar la exposición a la intensa radiación solar, hasta llegar a su destino. Como mecanismo de adaptación en espacios exteriores, la vestimenta que las personas locales utilizan en general, contrariamente a lo que se podría pensar, no es vestimenta ligera, sino que se proveen de camisas de manga larga, frecuentemente de colores oscuros, con el fin de protegerse de la radiación solar. También el uso de sombreros, sombrillas o cualquier objeto disponible para proveerse de sombra, es indispensable durante el tránsito de un sitio a otro.

En general, para la habitabilidad de espacios exteriores e interiores, las personas locales o acostumbradas a las condiciones climáticas de las ciudades desérticas adaptan su estilo de vida a sus circunstancias mediante diferentes mecanismos: por ejemplo, la siesta durante las horas de la tarde, con el fin de tratar de evadir las altas temperaturas, es una costumbre muy habitual. En general, es conveniente que toda actividad física, y movimientos, como caminar, se efectúen de

manera muy lenta para no incrementar la sensación de calor (Brager y de Dear, 1998). De hecho, las actividades físicas en el exterior se realizan preferentemente durante la mañana muy temprano o durante la noche.

Por otro lado, los mecanismos fisiológicos y psicológicos del cuerpo humano para adaptarse al medio ambiente desértico hacen que el rango de confort de las personas aclimatadas a estas condiciones sea más amplio y su temperatura de neutralidad sea mucho más alta (Ochoa, 2017), comparado con otros estudios de confort térmico para otros climas (Givoni, 1998; Gómez-Azpeitia, Bojórquez-Morales, Ruiz, Marincic, González y Tejeda, 2014). Un amplio estudio realizado por Gómez-Azpeitia et al. (2014) reveló variaciones en los rangos de confort de la población aclimatada, correspondiente a ciudades en varios climas diferentes, de entre 6.8° y 15.3° C.

Los factores conductuales, sociales, culturales, así como las expectativas y el grado de aclimatación de cada grupo poblacional ayuda a sobrellevar las condiciones térmicas adversas interiores y exteriores. Sin embargo, hay que tener en cuenta que este tipo de situaciones en muchos casos puede disminuir la productividad laboral y, más importante, implica riesgos a la salud, sobre todo en los grupos más vulnerables, lo que hace verdaderamente difícil habitar los desiertos urbanos, a lo que debe sumarse los efectos de la isla de calor urbana. Los riesgos a la salud son particularmente preocupantes durante los periodos en que se presentan “olas de calor” (Zou, Yan, Yu, Jiang, Ding, Qin, Wang y Qiu, 2021), lo que puede ocurrir varias veces al año. Todos estos efectos negativos se magnifican, además, de acuerdo con la vulnerabilidad de las personas: población de zonas social y económicamente marginadas, de edades críticas (adultos mayores y niños) o con enfermedades crónicas, con bajo nivel de educación y de ingresos, con discapacidad, con aislamiento lingüístico y según las condiciones de habitabilidad de cada vivienda (Hamstead y Sauer, 2021; Mohammed et al., 2021; Navarro-Estupiñán, Robles-Morua, Díaz-Caravantes y Vivoni, 2020).

Como consecuencia lógica, bajo las circunstancias descritas aumenta la demanda de energía eléctrica para enfriamiento, lo que impacta sobre la economía local (Mohammed et al., 2021).

En resumen, las condiciones cálidas extremas de los desiertos urbanos impactan de manera importante sobre la calidad de vida de los habitantes de las ciudades, limitando sus desplazamientos y horarios, aumentando su vulnerabilidad, provocando riesgos en su salud e impactando sobre su economía.

En la siguiente sección se presentan estudios de islas de calor urbanas en ciudades de México, considerando las preguntas de investigación planteadas en la metodología, a fin de visualizar las condiciones actuales de este fenómeno.

#### **4. ESTUDIOS SOBRE ISLAS DE CALOR EN CIUDADES DESÉRTICAS DE MÉXICO, METODOLOGÍAS EMPLEADAS Y RESULTADOS**

En México se ha abordado la problemática de la isla de calor desde hace varias décadas, comprendiendo su importancia y posible mitigación, llevando a cabo investigaciones en diferentes ciudades mediante métodos diversos, dependiendo de los objetivos y de la disponibilidad de recursos materiales y humanos. En general, lo que se pretende detectar son los efectos de los diferentes aspectos de la urbanización sobre el aumento de temperaturas urbanas respecto de las rurales, su distribución e intensidad. Se ha estudiado este fenómeno en numerosas ciudades mexicanas, como la Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey, Tampico, Poza Rica, entre otras. A continuación se presentan algunos ejemplos de investigaciones en ciudades mexicanas localizadas en desiertos. El criterio de selección de los casos fue el de responder a las preguntas de investigación planteadas en el apartado de metodología. Es necesario mencionar ciertas limitaciones en la búsqueda de publicaciones, comentadas también en la sección de metodología. Los estudios más completos que se encontraron, que responden total o parcialmente a estas inquietudes, corres-

ponden a ciudades ubicadas en los grandes desiertos del norte de México.

En ciudades desérticas como Mexicali, Baja California (García-Cueto et al., (2007) estudiaron la relación entre isla de calor y uso de suelo. Al analizar datos de estaciones meteorológicas de la zona urbana Mexicali (MX)-Caléxico (EUA), complementados con imágenes satelitales, se determinó la distribución de diferentes variables climáticas en la zona. Los resultados se contrastaron con la distribución de usos de suelo en cuanto a zonas residenciales, industriales, áreas verdes, uso mixto, equipamiento, infraestructura, zonas agrícolas y dunas. Sus hallazgos relacionan el tipo de urbanización con cambios en el balance de flujos de calor, lo que cambia los perfiles de temperatura y la distribución de temperaturas en las zonas urbana y rural, durante los ciclos diurnos y nocturnos. En las zonas residenciales, comerciales, industriales y de infraestructura fue donde se presentaron las temperaturas urbanas más altas. Sin embargo, en los terrenos desocupados urbanos (baldíos) y en las áreas desérticas se presentaron temperaturas aún mayores. El tráfico vehicular, sobre todo en el paso fronterizo con Estados Unidos, se detectó como una causa de altas temperaturas.

En la ciudad de Hermosillo, Sonora, se estudió la intensidad y la distribución de la isla de calor urbana mediante una combinación de estaciones meteorológicas fijas y mediciones móviles de variables climáticas, entre otras, de temperatura del aire y temperatura superficial, siguiendo transectos establecidos. Dentro de la ciudad se detectaron temperaturas más elevadas en zonas con mayor densidad urbana, más tránsito vehicular y menor presencia de vegetación. Se complementa la información con mapas satelitales de temperatura superficial, donde se aprecia durante el día mayores temperaturas en los corredores comerciales densamente urbanizados y con alto tránsito vehicular, así como en la zona industrial y las zonas desérticas rurales. En trabajos posteriores (Mercado y Marincic, 2021) se identifica la isla de calor urbana de Hermosillo con valores negativos durante el día y positivos durante la noche,

es decir, como un fenómeno nocturno, ya que durante el día se presentan temperaturas superficiales y ambientales más elevadas en el desierto natural que en la ciudad. También en la ciudad de Hermosillo (López et al., 2021) llevaron a cabo un estudio muy completo sobre la distribución e intensidad de la isla de calor (mosaico de zonas cálidas y frescas), destacando particularmente el efecto positivo de las áreas con vegetación en la disminución de las temperaturas, presentándose como “oasis” urbanos. Relacionan además el porcentaje de cobertura vegetal con la distribución de temperaturas y lo comparan con el de otras ciudades desérticas mexicanas. Destacan también el efecto positivo de los techos de alto albedo. En otros estudios de esta misma ciudad, se aborda el tema de la vulnerabilidad de la población al calor, elaborando mapas de riesgo (Navarro-Estupiñán et al., 2020; Hamstead y Sauer, 2021). Considerando la alta mortalidad debido a los efectos de calor, se vinculó la distribución urbana de temperaturas con indicadores socioeconómicos de vulnerabilidad al calor. Los mapas de riesgo resultantes pueden ser una herramienta útil para la planeación eficaz de estrategias de mitigación del calor.

En Ciudad Juárez, Chihuahua, también se ha estudiado la relación entre la vegetación urbana y la isla de calor (Salas y Herrera, 2017). Se cuantificaron los efectos de disminución de las temperaturas urbanas en las zonas con vegetación (diferenciando qué tipo de vegetación) y que ayudan en la mitigación de la isla de calor urbana. En este caso las mediciones de temperatura del aire se efectuaron con data loggers en los sitios analizados.

El tema de los efectos de la vegetación se aborda también en un estudio en la ciudad de Torreón, Coahuila (Flores-de la O, Villanueva-Solís y Quiroa-Herrera, 2018), donde se cuantifican los efectos de la vegetación en un parque urbano, para demostrar que la misma funciona como sumidero de calor en la ciudad. Se analiza además cómo el tipo de arborización influye en el nivel del control del microclima. Los datos se obtienen

también mediante mediciones de la temperatura del aire in situ con el uso de data loggers.

Tanto en las investigaciones de Mexicali (García-Cueto et al., 2007) como en las de Hermosillo (Mercado y Marincic, 2021) se corrobora el efecto “oasis” diurno de la temperatura urbana y el carácter nocturno de la isla de calor. Las zonas densas comerciales e industriales (y en algunos casos zonas residenciales) con intenso tráfico vehicular, presentan las mayores temperaturas de la ciudad en ambos casos. Por otro lado, en los terrenos baldíos sin vegetación dentro de la mancha urbana, cercanos a las áreas desérticas periféricas a la ciudad, se produce el mismo fenómeno que en el desierto abierto no urbanizado, es decir, se registran igualmente muy altas temperaturas.

Entre los estudios encontrados, son relativamente pocas las investigaciones que relacionen los efectos físicos de la isla de calor con los efectos sobre las personas.

A pesar de tratarse de ciudades desérticas, el aspecto de la presencia de la vegetación en zonas urbanas se menciona frecuentemente, siendo tema puntual de investigación en algunos casos. Uno de los motivos es el gran impacto que tiene en la disminución de temperaturas superficiales y del aire. En este tipo de ciudades, sin embargo, diseñar, crear y mantener áreas verdes, aunque parezca una estrategia sencilla y económica, es una tarea verdaderamente difícil debido a las condiciones ambientales.

En las investigaciones que se mencionaron se emplearon con frecuencia mapas satelitales para evidenciar la distribución de las temperaturas superficiales; también se utilizaron mediciones de temperaturas del aire mediante monitoreos móviles a lo largo de recorridos predeterminados. Este tipo de datos se relacionan con otras variables, ya sea uso de suelo, tráfico vehicular, densidad de construcción, cobertura vegetal, indicadores socioeconómicos, etc., para vincular causas y efectos. Es importante también el tipo de modelos matemáticos que se elaboran y utilizan para el manejo y procesamiento de los datos.

La isla de calor en las ciudades es un fenómeno que se debe estar monitoreando y, de preferencia, controlando permanentemente, ya que el aumento poblacional, la mayor urbanización y el aumento del tráfico vehicular, entre otros factores, hacen que el fenómeno, si no se toman las medidas de mitigación adecuadas, siga una tendencia de aumento de intensidad con el tiempo.

Algunas iniciativas abordadas en México, aunque aún con escaso impacto, son políticas públicas como la de NAMA para Vivienda Sustentable en México (basada en NAMA Acción Nacional Apropriada de Mitigación, que es una opción de mitigación en la producción y efectos de los gases de efecto invernadero para los países en desarrollo, en el contexto de la negociación sobre acción cooperativa a largo plazo). Esta política se instrumenta a través de un sistema de calificación de la vivienda verde (Sisevive-Ecocasa) para poder acceder a créditos para vivienda nueva. Por otro lado, existen iniciativas para abordar el déficit de vivienda mediante la creación de desarrollos urbanos integrales sustentables (DUIS) en diferentes zonas de México, que consisten en construir fraccionamientos planeados con criterios sustentables y de mitigación al cambio climático, que contribuyen al ordenamiento territorial de los estados y municipios y promueven un desarrollo urbano más ordenado, justo y sustentable.

Para seguir con aspectos referentes a la solución de la problemática de isla de calor y las propuestas urbanas sustentables, se presentan a continuación propuestas urbanas de mitigación para ciudades en general, destacando las particularidades de estas propuestas para ciudades desérticas.

## **5. PROPUESTAS GENERALES PARA LA MITIGACIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANA EN CIUDADES DESÉRTICAS**

Son conocidas las posibles medidas de mitigación de la isla de calor urbana, para ciudades en general, que podrían impactar de forma favorable sobre la disminución de la isla de calor (U. S. Environmental Protection Agency, 2012), como

el control del calor antropogénico (causado por tráfico vehicular, industria y actividades humanas en general), desarrollo de geometría urbana que favorezca el sombreado diurno y el enfriamiento nocturno, uso de superficies de materiales con propiedades térmicas y radiativas capaces de reducir las temperaturas superficiales, sobre todo en pavimentos y techos (cool materials), incremento de la vegetación en la ciudad, uso de elementos urbanos de protección solar, así como la incorporación de elementos paisajísticos con presencia de agua para favorecer el enfriamiento evaporativo, entre otras estrategias. Dependiendo de las causas más importantes que generan y aumentan la isla de calor en una determinada ciudad, se podría planear e implementar las medidas más adecuadas para su control y mitigación.

De manera resumida, se presentan las medidas generales de mitigación para ciudades en general (tabla 3), destacando algunas particularidades para ciudades desérticas.

El calor antropogénico, una de las causas de aumento de temperatura, se puede controlar mediante medidas como:

- La gestión de la ciudad en cuanto a movilidad (Padilla Galicia, 2019), que incluye vehículos, transporte público, ciclistas y peatones, se debe entender como un sistema integral, que tienda a evitar congestiones viales, ofrezca oportunidades de movilidad de acuerdo con diferentes distancias, y reduzca la emisión de contaminantes y el consumo de energía, sobre todo el de combustibles fósiles. Otra parte de esta medida es incentivar el uso de transporte eléctrico o híbrido, tanto público como privado, así como el de celdas de combustible.
- La regulación y control del calor y las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por las actividades industriales.

En cuanto a los aspectos a tener en cuenta para la planeación del crecimiento urbano que pueden impactar a mediano y largo plazo sobre la temperatura de las ciudades, se pueden mencionar:

- La densidad de la ciudad, orientación de la traza urbana y las dimensiones del cañón urbano son factores que determinan su comportamiento térmico. Las ciudades más densas por lo general presentan más construcciones verticales, capaces de sombrear parcialmente las calles y fachadas durante la incidencia de la radiación solar, lo que permite acumular menor cantidad de calor en las construcciones. La densificación favorece también la disminución de la movilidad vehicular que, como se mencionó, es una fuente de calor antropogénico y de contaminación. Los cañones urbanos más estrechos permiten mayor sombreado, pero por otro lado, favorecen el intercambio de radiación infrarroja entre las diferentes superficies verticales y horizontales, lo que incrementa el calor acumulado (Soudoudi et al., 2014). Si se considera una traza urbana compacta, los edificios altos benefician el sombreado y sin embargo disminuyen el factor de cielo visto, lo que dificulta el enfriamiento nocturno. En cambio, ciudades compactas con alturas más bajas y uniformes se benefician de un comportamiento diurno y nocturno más adecuado. Un plan de densificación urbana disminuiría, por otro lado, los terrenos urbanos desocupados o baldíos, que en climas desérticos presentan sobrecalentamiento de su superficie en ausencia de vegetación.

Las calles con abundante y frondoso arbolado vial también favorecen el sombreado, disminuyendo el factor de cielo visto (Venhari et al., 2019). Pero durante la noche las copas de los árboles impiden el enfriamiento radiativo. Es necesario, por lo tanto, encontrar la proporción justa que satisfaga el comportamiento térmico diurno y nocturno (Correa, Sosa, Cantón y Ruiz, 2021).

- Es necesario que las superficies construidas, sobre todo horizontales, estén provistas de materiales de alto albedo y baja capacidad calorífica (Arabi et al., 2015), lo que disminuiría la absorción y el almacenamiento de calor y podría favorecer el enfriamiento radiativo,

sobre todo durante la noche. Es también deseable que las superficies de calles, banquetas y estacionamientos sean permeables (Ouali et al., 2017) con el fin de favorecer la recarga de mantos acuíferos y la humidificación del ambiente, lo que en climas secos provoca un efecto favorable de enfriamiento evaporativo.

- La creación y mantenimiento de espacios verdes urbanos con vegetación, como arbolado vial, vegetación cubresuelos, techos verdes, muros verdes, que favorecen el sombreado de las superficies, disminuyendo la absorción y almacenamiento de calor en las superficies urbanas (Gunawardena et al., 2017), ya que la vegetación no almacena calor. En el caso de los techos verdes, además de sombrear, la vegetación proporciona cierto nivel de aislamiento térmico. Los muros verdes además impiden las sucesivas reflexiones de radiación infrarroja dentro del cañón urbano, lo que contribuye a disminuir el calentamiento de las fachadas. Los espacios públicos verdes se pueden planear como ejes o bien redes de áreas con vegetación dentro del tejido urbano, que funcionarían como sumideros de calor. Estos espacios propiciarían áreas exteriores con microclimas más habitables (Louafi-Bellara y Abdou, 2016), donde el sombreado, el efecto de la evapotranspiración, el enfriamiento evaporativo (si se contara con la presencia de agua en fuentes, espejos de agua, etc.) y la posible ventilación, serían estrategias aplicables que tendrían el potencial de controlar el clima a escala local, y en una red de áreas verdes, a nivel urbano. La planeación de una red de infraestructura verde (vegetación) y azul (agua) puede contribuir en gran medida a las estrategias de enfriamiento de las ciudades (Gunawardena, Wells y Kershaw, 2017).

Estas medidas muy generales dependen del clima, de la incidencia solar y de la configuración del relieve de la zona urbana, entre otros factores.

Las ciudades desérticas, sin embargo, por su condición de calor extremo y escasez de agua

encuentran algunas dificultades para adoptar algunas de estas estrategias, lo que se comentará a continuación.

- Los espejos de agua, cascadas, fuentes y otros elementos paisajísticos que favorecen el enfriamiento evaporativo (O'Malley et al., 2014), sobre todo en climas secos, son una opción a la que en muchos casos no se recurre debido a la escasez de agua en estas regiones (INEGI, 1991).
- La escasez de agua en zonas desérticas debida a las escasas precipitaciones (INEGI, 1991), dificulta seriamente el riego y mantenimiento de la vegetación, sobre todo en espacios públicos, por lo que frecuentemente las autoridades desisten de ocuparse de tal misión y el cuidado queda, cuando hay interés, en manos de privadas (ciudadanos y comerciantes). La vegetación proporciona múltiples beneficios a la ciudad y a sus habitantes, creando microclimas habitables y favoreciendo la reducción de las temperaturas, pero es un bien difícil de mantener en ciudades desérticas (Flores-de la O et al., 2018). Algunas medidas necesarias para planear el enverdecimiento de una ciudad serían, por un lado, la utilización de vegetación nativa o adaptada a la región (en cuanto a radiación solar, vientos, riego) y de bajo consumo de agua, para optimizar el agua empleada para el riego (Salas y Herrera, 2017). Si bien el diseño de paisajes xéricos para áreas exteriores podría ir en este sentido, este tipo de vegetación produce escasas sombras sobre las superficies, propiciando el calentamiento del suelo, por lo que cumpliría sólo una función ornamental. Otro recurso para optimizar el consumo de agua es el uso de sistemas de riego automatizados que regulen la cantidad de agua y la suministren de manera óptima, preferentemente con agua reciclada. Por otro lado, algunos estudios evidencian cómo se puede optimizar la configuración de la geometría urbana y las áreas verdes para disminuir las temperaturas diurnas en zonas desérticas. En la ciudad de Phoenix, Arizona, se estudian diferentes

diseños paisajísticos bastante habituales para el diseño de áreas exteriores con vegetación en la zona, obteniendo resultados sobre los diferentes microclimas, usando vegetación tipo oasis, méxica y xérica, en combinación con diferentes opciones de densidad y altura de construcción (Middel et al., 2014).

- Respecto a la configuración urbana, en algunas ciudades en el desierto de Sonora como Phoenix (Emmanuel y Fernando, 2017), Mexicali (Lucero Velasco, 2002), Hermosillo y otras en el desierto de Chihuahua, como Chihuahua y Ciudad Juárez, por ejemplo, las calles son muy amplias, la altura de los edificios es de pocos niveles en promedio y los espacios exteriores se presentan como áreas tipo explanada, de considerable superficie y sin sombreado. Esta configuración permite el calentamiento de las superficies durante todo el día y su almacenamiento en materiales de alta capacidad calorífica. Por otro lado, la geometría de las calles no facilita, en general, la reflexión sucesiva de la radiación infrarroja en los cañones urbanos (lo que incrementaría el almacenamiento de calor en las superficies horizontales y verticales), por lo que hasta cierto punto, esta geometría favorece el enfriamiento nocturno. Aunado a esto, el alto factor de vista del cielo permite que durante la noche haya mayor potencial de enfriamiento radiativo.
- La configuración tan extendida en el territorio de algunas ciudades como las mencionadas, dificulta la aplicación de otra de las estrategias apropiadas para mitigar la isla de calor: la disminución del tráfico vehicular (Ouali, 2017). La movilidad tanto peatonal como en bicicleta, que serían alternativas para disminuir el calor antropogénico generado por los vehículos, evidentemente resultan complicadas y hasta perjudiciales para la salud bajo temperaturas extremas y largos recorridos.

**TABLA 3**  
Estrategias de mitigación de la isla de calor urbana

Objetivo	Estrategia	Particularidad en ciudades desérticas
Disminuir el calor antropogénico	Gestión de la movilidad (Padilla Galicia, 2019) para disminuir uso de vehículos con combustibles fósiles.	En algunas ciudades desérticas muy extendidas en el territorio, con calles amplias, se dificulta la movilidad peatonal y en bicicleta, por lo que se recurre a la movilidad vehicular.
	Control de calor y contaminación de industrias.	Misma estrategia.
Disminuir el calor recibido y acumulado en las superficies urbanas	Geometría de la ciudad. Densificación.	Algunas ciudades desérticas con calles y espacios públicos muy amplios favorecen el calentamiento debido a altos niveles de radiación solar (Soudoudi et al., 2014). Como ventaja, se produce poca reflexión infrarroja dentro de los cañones urbanos y la configuración favorece el enfriamiento radiativo nocturno.
	Uso de materiales con propiedades térmicas que propicien baja absorción y bajo almacenamiento de calor (Arabi et al., 2015) y pisos exteriores de materiales permeables (Ouali et al., 2017).	Uso generalizado de materiales de acabado en los techos con alta reflectividad, lo que permite menor absorción de la radiación solar y mayor posibilidad de enfriamiento nocturno (Arabi et al., 2015; Ouali et al., 2017).
	Uso de vegetación para sombreado y creación de microclimas urbanos (Gunawardena et al., 2017).	Es necesario utilizar vegetación nativa o adaptada que resista altas temperaturas, alta radiación solar y poco riego. Es conveniente utilizar sistemas de riego automatizado (Salas y Herrera, 2017) con agua tratada.
	Uso de elementos paisajísticos con agua para propiciar el enfriamiento evaporativo (O'Malley et al., 2014).	Tienen gran potencial de enfriamiento debido al ambiente seco, pero se dificulta su aplicación por la escasez de agua.

Como cierre de esta sección sobre propuestas generales, considerando que México tiene una gran extensión de zonas desérticas y semidesérticas, se puede mencionar, como una opinión personal, que la situación del crecimiento acelerado de muchos conglomerados urbanos en México, incluyendo ciudades desérticas, daría la oportunidad de crear fraccionamientos y sectores nuevos diseñados con criterios sustentables, en especial aplicando estrategias de mitigación de los efectos de isla de calor, que beneficiarían además de a los habitantes locales, a una buena parte de la ciudad. Por esto, hay una posibilidad concreta de revertir la situación actual en cuanto a isla de calor en ciudades mexicanas mediante la creación de asentamientos más sustentables en sectores nuevos de las ciudades.

## 6. CONCLUSIONES

El calentamiento de las ciudades debido fundamentalmente a la urbanización es un problema creciente, con efectos para los habitantes que incluyen aspectos de salud y calidad de vida, de consumo de energía y agua, así como de deterioro del ambiente urbano. Asimismo, el efecto de isla de calor urbana contribuye al incremento del calentamiento global.

Las soluciones, aunque no son ni fáciles ni de efecto inmediato, han sido estudiadas extensamente y en algunas ciudades ya se han ido implementando. En las ciudades desérticas el fenómeno de isla de calor presenta un comportamiento un poco diferente al resto de las ciudades, al manifestarse fundamentalmente durante la noche. Estas condiciones particulares hacen

que las estrategias de mitigación deban ser implementadas selectivamente, de acuerdo con las posibilidades que las condiciones climáticas y los recursos (como el agua) permiten, lo que se ha comentado y destacado en este trabajo. El mismo está apoyado tanto por bibliografía básica, por bibliografía de investigaciones relativamente recientes, como por reflexiones basadas en los hallazgos de los diversos autores citados, así como por experiencias y observaciones personales de vivir y analizar las circunstancias de habitar en el desierto.

Los conceptos básicos sobre el fenómeno de isla de calor en general e isla de calor en ciudades desérticas están referenciados con investigaciones pertinentes a los diferentes temas. Además, se describieron investigaciones específicas sobre isla de calor en ciudades desérticas mexicanas, para conocer su problemática específica. Se describen, además, las condiciones de habitabilidad de los habitantes de las ciudades desérticas, en particular las del norte de México, y se proponen estrategias de mitigación de la isla de calor urbana acordes con estas ciudades, teniendo en cuenta la situación específica.

Considerando la situación que se describe, en México es imprescindible la implementación de políticas públicas de planeación urbana, reglamentación de la construcción y en general del funcionamiento de las ciudades que favorezcan la mitigación de la isla de calor y sus consecuencias.

En este trabajo se aporta una visión actual sobre las circunstancias ambientales en las que se encuentran las ciudades del desierto, en particular las de México, para afrontar el reto de mitigar los efectos de la isla de calor. Además, se evidencian las duras circunstancias de la población para adaptarse al clima local, en especial la más vulnerable, y para lograr condiciones aceptables de habitabilidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ali, S. B., Patnaik, S., y Madguni, O. (2017). Microclimate land surface temperatures across urban land use/ land cover forms. *Global Journal of*

- Environmental Science and Management*, 3(3), número de serie 11, verano, pp. 231-340. doi: 10.22034/gjesm.2017.03.03.001.
- Arabi, R., Sharidan, M. F., Kamal, M. S. M., Bin Ja'AFar, M. F. Z., y Rakhshandehroo, M. (2015). Mitigating urban heat island through green roofs. *Current World Environment*, vol. 10, número especial 1, pp. 918-927. doi: <http://dx.doi.org/10.12944/cwe.10.Special-Issue1.111>.
- Berardi, U., y Wang, Y. (2016). The Effect of a Denser City over the Urban Microclimate: The Case of Toronto. *Sustainability*, núm. 8, pp. 8-22. doi: <https://doi.org/10.3390/su8080822>.
- Brager, G. S., y de Dear, R. J. (1998). The adaptation to the built environment: A literature review. *Energy and Buildings*, núm. 27, pp. 83-96. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00053-4).
- Correa, E. N., Sosa, M. B., Cantón, M. A., y Ruiz, M. A. (2021). Urban morphology as a mitigation strategy of urban warming in "oasis cities" of arid regions. En: M. Palme, y A. Salvati (eds.), *Urban Microclimate modelling for Comfort and Energy Studies* (pp. 419-442). Suiza: Springer Nature. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-65421-4\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-030-65421-4_20).
- Emmanuel, R., y Fernando H., J. S. (2007). Urban heat islands in humid and arid climates: Role of urban form and thermal properties in Colombo, Sri Lanka and Phoenix, USA. *Climate Research*, vol. 34, pp. 241-251. doi: 10.3354/croo694.
- Flores-de la O, J. L., Villanueva-Solís, J., y Quiroa-Herrera, J. A. (2018). Evaluación de los efectos microclimáticos que tiene la vegetación en la mitigación de la isla de calor urbana: Parque en la ciudad de Torreón, México. *Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci)*, 52(2): 123-140. doi: <http://dx.doi.org/10.15359/rca.52-2.7>.
- García-Cueto, O. R., Jáuregui-Ostos, E., Toudert, D., y Tejeda-Martinez, A. (2007). Detection of the urban heat island in Mexicali, B. C., México and its relationship with land use. *Atmósfera*, 20(2): 111-131.
- García García, A. (2017). *Habitar el Norte*. México: Tilde Editores/Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Gay García, C., y Rueda Abad, J. C. (Coords.). (2015). *Reporte mexicano de cambio climático libro 2: Impactos, vulnerabilidad y adaptación*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

- Germanwatch. (2021). Global Climate Risk Index 2021. Recuperado de: <https://www.germanwatch.org/es/19777>
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. Estados Unidos: John Wiley and Sons, Inc.
- Gómez-Azpeitia, L. G., Bojórquez-Morales, G., Ruiz, R. P., Marincic, I., González, E., y Tejada, A. (2014). Extreme adaptation to extreme environments in hot dry, hot sub-humid and hot humid climates in Mexico. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 8(8) (serial núm. 81), agosto, pp. 929-942. Estados Unidos: David Publishing Company.
- Gunawardena, K. R., Wells, M. J., y Kershaw, T. (2017). Utilizing green and blue space to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment*, núm. 584-585, pp. 1040-1055. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.158>.
- Hamstead, Z. A., y Sauer, J. (2021). Mapping Vulnerability to Weather Extremes: Heat and Flood Assessment Approaches. En: Z. A. Hamstead, D. M. Iwaniec, T. McPearson, M. Berbés-Blásquez, E. M. Cook y T. A. Muñoz-Erickson (eds.), *Resilient Urban Futures* (pp. 47-66). Estados Unidos: The Urban Book Series/Springer Cham. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-63131-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-63131-4_4).
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (1991). Datos básicos de la geografía de México. Recuperado de: [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825221218/702825221218\\_2.pdf#f\[20,{%22name%22:%22Fit%22}\]](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825221218/702825221218_2.pdf#f[20,{%22name%22:%22Fit%22}])
- Lazzani, M., Marpu, P. R., y Ghedira, H. (2013). Temperature-land cover interactions: The inversion of urban heat island phenomenon in desert city areas. *Remote Sensing Environment*, núm. 130, pp. 136-152. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.11.007>.
- López, F. M., Navarro, L. A., Díaz, R. E., y Navarro-Estupiñán, J. (2021). Vegetation cover and urban heat islands / oases distribution Hermosillo city, Sonora. *Frontera Norte*, 33(6). doi: <https://doi.org/10.33679/rfn.viii.2088>.
- Louafi-Bellara, S., y Abdou, S. (2016). Vegetation effects on urban street microclimate and thermal comfort during overheated period under hot and dry climatic conditions. *Journal of New Technology and Materials (JNTM)*, 06(02): 87-94.
- Lucero Velasco, H. M. (Coord.) (2002). *Mexicali 100 años. Arquitectura y urbanismo en el desierto del Colorado*. México: Grupo Patria Cultural.
- Marincic, I., y Ochoa, J. M. (2021). Urban microclimatic conditions in arid climates. En: M. Palme, y A. Salvati (eds.), *Urban Microclimate modelling for Comfort and Energy Studies* (pp. 163-181). Suiza: Springer Nature. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-65421-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-65421-4_8).
- Mercado, L., y Marincic, I. (2021). Análisis comparativo de superficies de pavimentos sobre los efectos de la isla de calor urbana en Hermosillo, Sonora. En: M. G. Alpuche (coord.), *Estudios sobre habitabilidad y bienestar en la ciudad* (pp. 158-189). México: Universidad de Sonora. doi: [10.29410/QTP.21.10](https://doi.org/10.29410/QTP.21.10).
- Middel, A., Häbb, K., Brazel, A. J., Martind, C. A., y Guhathakurtae, S. (2014). Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. *Landscape and Urban Planning*, núm. 122, pp. 16-28. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.004>.
- Mohammed, A., Khan, A., y Santamouris, M. (2021). On the mitigation potential and climatic impact of modified urban albedo on a subtropical desert city. *Building and Environment*, núm. 206, pp. 108-276. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108276>.
- Nassar, A. K., Blackburn, G. A., y Whyatt, J. D. (2017). What controls the magnitude of the daytime heat sink in a desert city? *Applied Geography*, núm. 80, pp. 1-14. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.01.003>.
- Navarro-Estupiñán, J., Robles-Morua, A., Díaz-Caravantes, R., y Vivoni, E. (2020). Heat risk mapping through spatial analysis of remotely-sensed data and socioeconomic vulnerability in Hermosillo, Mexico. *Urban Climate*, núm. 31, pp. 100-576. doi: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100576>.
- Nicol, F., Humphreys, M., y Roaf, S. (2012). *Adaptive thermal comfort: Principles and practice*. Londres: Routledge. doi: <http://doi.org/10.4324/9780203123010>.
- Ochoa, J. M. (2017). La vegetación como elemento de control bioclimático en espacios exteriores. En: Elías, P., y Fuentes, V. (Eds), *Estudios de ar-*

- arquitectura bioclimática, vol. XIII. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Oke, T. R. (1982). The Energetic basis of the Urban Heat Island. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, núm. 108, pp. 1-23.
- . (2002). *Boundary layer climates*. Reino Unido: Routledge.
- O'Malley, C., Piroozfarb, P. A. E., Farr, E. P. R., y Gates, J. (2014). An investigation into minimizing urban heat island (UHI) effects: A UK perspective. *Energy Procedia*, núm. 62, pp. 72-80. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.368>.
- Önder, S., y Akay A. (2014). The Roles of Plants on Mitigating the Urban Heat Islands' Negative Effects. *International Journal of Agriculture and Economic Development*, 2(2): 18-32.
- Ouali, K., El Harrouni, K., y Abidi, M. (2017). Review of the urban heat island phenomenon analysis as an adaptation to climate change in Maghreb cities. *Civil Engineering and Urban Planning: An International Journal (CIVEJ)*, 4(3/4): 1-12. doi: <https://doi.org/10.5121/civej.2017.4401>.
- Padilla Galicia, S. (2019). Agenda hacia la ciudad sustentable. En: Padilla Galicia, S., y Fuentes Freixenet, V. (Comps.), *Hábitat Sustentable III*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Salas, M. G., y Herrera, L. C. (2017). La vegetación como sistema de control para las islas de calor urbano en Ciudad Juárez, Chihuahua. *Revista Hábitat Sustentable*, 7(1): 14-23. doi: <https://doi.org/10.22320/o7190700.2017.07.01.02>.
- Sedaghat, A., y Sharif, M. (2022). Mitigation of the impacts of heat islands on energy consumption in buildings: A case study of the city of Tehran, Iran. *Sustainable Cities and Society*, núm. 76, pp. 103-435. pp. 1-15. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103435>.
- Shalaby A. S. (2011). Urban Heat Island and Cities Design: A Conceptual Framework of Mitigation Tools in Hot-arid Regions. *Journal of Urban Research (JUR)*, núm. 8, pp. 42-63. doi: [10.21608/JUR.2011.94276](https://doi.org/10.21608/JUR.2011.94276).
- Soudou, S., Shahmohamadi, P., Vollack, K., Cubasch, U., y Che-Ani, A. I. (2014). Mitigating the Urban Heat Island Effect in Megacity Tehran. *Advances in Meteorology*, 2014(ID 547974), p. 19. Hindawi Publishing Corporation. doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/547974>.
- U. S. Environmental Protection Agency. (2012). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*. Urban Heat Island Basics. Recuperado de: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>
- Venhari, A. A., Tenpiek, M., y Taleghani, M. (2019). The role of sky view factors and urban street greenery in human thermal comfort and heat stress in a desert climate. *Journal of Arid Environments*, núm. 166, pp. 68-76. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.04.009>.
- Zou, Z., Yan, C., Yu, L., Jiang, X., Ding, J., Qin, L., Wang, B., y Qiu, G. (2021). Impacts of land use/land cover types on interactions between urban heat island effects and heat waves. *Building and Environment*, núm. 204, pp. 108-138. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108138>.



# Relación entre la intensidad de uso de energía y la morfología urbana: densificación como estrategia de mitigación del cambio climático

*Relationship between energy performance of buildings and urban morphology: Densification as a climate change mitigation strategy*

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i12.194>

**FÁTIMA ANAHÍ CÓRDOVA BORBÓN**

Universidad de Sonora, México / ORCID: 0000-0002-5554-377X.

Correo electrónico: fatima.cordova@unison.mx

**MARÍA GUADALUPE ALPUCHE CRUZ**

Universidad de Sonora, México / ORCID: 0000-0002-7641-0538.

Correo electrónico: guadalupe.alpuche@unison.mx

Recibido: 01 de septiembre 2021. Aceptado: 28 de febrero de 2022.

## RESUMEN

Actualmente, más de la mitad de la población mundial habita en ciudades (Naciones Unidas, 2021), y se espera un incremento del uso de energía en los servicios de vivienda. Además, las ciudades se caracterizan por un crecimiento disperso, por lo que, como medida correctiva, la estrategia de densificación urbana es introducida en la planeación de las ciudades. Esta investigación tiene por objetivo analizar el impacto de la misma en la intensidad de uso de energía (IUE) de las viviendas del clima cálido seco y su relación con los parámetros de densidad. Con el fin de fundamentar la viabilidad y mejorar las herramientas de análisis y toma de decisiones para el diseño de ciudades con mayor resiliencia.

En particular evalúa el uso de aire acondicionado y calefacción a través de la selección de una muestra de análisis en Hermosillo, Sonora, de la cual se generan escenarios hipotéticos densifi-

cados que se analizan a través de la herramienta de cálculo EnergyPlus. Finalmente, los resultados muestran los parámetros morfológicos con mayor relación con el consumo e indican que la estrategia puede reducir hasta en 37% la IUE. Cabe mencionar que la definición de los escenarios representa sólo una pequeñísima fracción de la casi infinita combinación de parámetros (geometría, clima, etc.) y se limita al estudio de un solo caso.

La investigación tiene un aporte en el diseño de estrategias de crecimiento de las ciudades, en especial las de clima cálido seco. Además de evaluar niveles de densificación y establecer parámetros de análisis a través de una metodología experimental.

Palabras clave: crecimiento disperso, densificación urbana, clima cálido-seco, morfología urbana, forma urbana, intensidad de uso de energía, planeación energética.

## ABSTRACT

Currently, more than half of the world population live in cities (United Nations, 2021), and an increase in energy use in housing services is expected. Furthermore, cities are characterized by dispersed growth (urban sprawl), therefore, as a corrective measure the urban densification strategy is introduced by city planners. The objective of this research is to analyze the impact of this strategy on Energy Use Intensity (EUI) of homes in the arid climate and its relationship with density parameters to substantiate the viability and improve the analysis and decision-making tools for the design of resilient cities.

This study evaluates the use of air conditioning and heating through the selection of an urban analysis sample in Hermosillo, Sonora, from which densified hypothetical scenarios are generated and simulated through Energy Plus calculation tool. Finally, the results show the morphological parameters most closely related to consumption and indicate that the strategy can reduce EUI by up to 37%. It is worth mentioning that the definition of the scenarios represents only a very small fraction of the almost infinite combination of parameters (geometry, climate, etc.) and is limited to the study of a single case.

The research has a contribution in the development of city planning strategies, especially for those with an arid climate. In addition, also evaluates different levels of densification using common parameters and validates through an experimental methodology.

Keywords: urban sprawl, urban densification, hot-arid climate, urban morphology, urban form, energy use intensity.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente más de la mitad de las personas del mundo viven en ciudades y se espera un aumento para el año 2030 de un 60%. Éstas producen aproximadamente el 60% del PIB mundial, pero a la vez son las responsables del 75% de las emisiones de carbono y entre el 60 y 80% del consumo

de energía a nivel global (Naciones Unidas, 2021). Bajo estas premisas, los entornos urbanos se convierten en el punto clave para ejecutar medidas de acción de gran impacto en la mitigación del cambio climático en la búsqueda de lograr ciudades de mayor inclusión, seguras, resilientes y sostenibles.

La preocupación y crítica sobre el crecimiento de la ciudad del siglo XX trajo consigo la inclusión del concepto de densidad dentro del estudio. En su forma de concepto más simple, la densidad es el número de unidades en un área determinada y puede ser calculada como la proporción entre la cantidad o número de unidades de una magnitud genérica y un ámbito espacial de referencia (Batty, 2009). Mientras que en el entorno urbano el concepto de densidad es utilizado para expresar la relación cierta área de tierra y alguna entidad (personas, servicios, viviendas, edificios) dentro de esa área. Entre las variables comúnmente utilizadas dentro de los reglamentos intentan controlar y medir la ocupación que se ejerce sobre los suelos mediante parámetros calculables como altura de edificios, el coeficiente de ocupación del suelo (COS) y el coeficiente de utilización del suelo (CUS), cuyas siglas y nombres cambian según la región o país. A pesar de los esfuerzos por determinarla, no existen valores únicos o concordados de una densidad urbana ideal. La falta de claridad y sus múltiples facetas han hecho que su medición no sea siempre precisa o haga referencia a los mismos criterios cuando es analizada por distintos partidos. De acuerdo con Berghauer y Haupt (2007) sobre el uso de valores de densidad en el diseño urbano, su utilidad puede ser cuestionable cuando se analiza desde una perspectiva estadística, ya que no es capaz de reflejar del todo las características espaciales de los entornos urbanos, por lo que desde el año 2004 ha venido desarrollando el análisis de la densidad desde una perspectiva morfológica mediante la correlación de cinco variables: coeficiente de utilización de suelo (floor space index —FSI), coeficiente de ocupación (ground space index —GSI), proporción de espacio libre (open space ratio —OSR), capas o niveles (layers —L) y la densidad de conexión (network density —N). Todas ellas combinadas en un diagrama al que llamaron Spacemate, ubicando el

valor CUS (FSI) en el eje de las ordenadas, el valor COS (GSI) en el eje de las abscisas. Los valores OSR y L se encuentran como gradientes sobresalientes dentro del mismo.

El estudio de la densidad dentro de las ciudades ha tomado una connotación descriptiva y prescriptiva que analiza lo existente y busca ofrecer soluciones a las consecuencias muchas veces relacionadas con el crecimiento disperso (Berghauer y Haupt, 2010). El término dispersión urbana es utilizado para indicar baja densidad, discontinuidad, dependencia del automóvil y un inadecuado desarrollo urbano generalmente utilizado de una manera peyorativa pero nunca claramente definida, que conlleva a un mayor gasto de construcción, servicios e infraestructura; además requiere de un sistema complejo de gestión (Fernandez, 2007). Es también una desventaja desde el punto de vista medioambiental, ya que se necesita mayor energía y es más contaminante que los asentamientos con mayor densidad y compactos. Es causante de poca diversificación social y de servicios, conlleva a una elevada presencia de viviendas unifamiliares aisladas y alineadas que implican un aumento de precios de construcción y energía incorporada (Indovina, 2007). Puede decirse que este crecimiento urbano no adopta o sigue las necesidades de los residentes y como resultado de este proceso los territorios antes destinados para conservación, áreas verdes o reserva, son ahora utilizados para la construcción de vivienda (Habibi, 2011). A pesar de los esfuerzos para limitar este tipo de modelo descontrolado, la dispersión urbana sigue en aumento en ciudades por todo el mundo (Brueggemann, 2005). “Es un proceso de degradación que va a generar a la larga mayores costes sociales y económicos y en definitiva ambientales” (Indovina, 2007). Por el contrario, ciudad compacta vendría a ser aquella con altas densidades, presenta mezcla de usos, y su crecimiento se encuentra delimitado (Nevado García, 2019).

Las ventajas a la hora de hablar de mayores densidades o ciudades compactas están ampliamente referenciadas a los nuevos conceptos de urbanismo sustentable: reducción de la demanda de uso de suelo, reducción de la dispersión y sue-

lo rural, eficiencia de los sistemas de transporte público, reducción de desplazamiento, incremento de número equipamientos y servicios públicos, generación de entornos peatonales, entre otros (Vaggione, 2014; Forsyth et al., 2016). Como solución al crecimiento disperso de las ciudades y bajo la premisa de los beneficios de la ciudad compacta, la estrategia de densificación de las ciudades propone el reordenamiento de grandes áreas localizadas que se encuentren mal utilizadas, deterioradas o desocupadas, como pueden ser zonas habitacionales antiguas de baja densidad poblacional, equipamientos de gran tamaño en desuso, zonas industriales, entre otras (Salazar, 2001). En los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible y en múltiples estudios se reconocen los riesgos ambientales y de aumento de consumo de energía de la dispersión urbana y crecimiento en baja densidad y al mismo tiempo destaca beneficios económicos de la ciudad compacta desde la perspectiva de conectividad, economía, de interacción social y medioambiental (Naciones Unidas, 2021; Fernández, 2007; Indovina, 2007).

Puesto que el desempeño energético de una edificación es considerado dependiente de la geometría urbana (Ratti, Baker y Steemers, 2005; Salvati, Palme, Chiesa y Kolokotroni, 2020), los cambios que ejercen las estrategias de densificación alteran la geometría del contexto al modificar la ocupación que se ejerce sobre los suelos y su intensidad de utilización, por lo que será necesario estudiar sus efectos en el rendimiento energético de las edificaciones.

Inicialmente, la relación entre la densidad, forma urbana y el consumo energético fue estudiado a gran escala por Steadman (1977) al observar parámetros de densidad y forma, concluyendo que altas densidades resultan ser más eficientes energéticamente a nivel ciudad; posteriormente determina que la forma urbana presenta dos relaciones importantes con el desempeño energético de la edificación: una directa que contempla la obstrucción de la radiación por la morfología, y otra indirecta en cuanto a la modificación del microclima o intensidad del efecto de isla de calor que afecta el comportamiento térmico de las edificaciones, y por lo tanto su desempeño energé-

tico (Moreno y Steadman, 2014). Su iniciativa dio pie a múltiples estudios (Steemers, 2003) orientados a la demanda de las edificaciones, enfocándose principalmente en el acceso a la luz natural, ganancias solares y ventilación natural (Hui, 2001), buscando demostrar la relación intrínseca entre la densidad y la eficiencia energética (Larivière y Lafrance, 1999; Steemers, 2003). A nivel edificio, los hermanos Olgyay (1963) consideraron principios científicos básicos para obtener aproximaciones de consumo que posteriormente sustentaron con modelos experimentales (Olgyay, 1967). Martin y March (1972) a su vez consideraron la relación con parámetros de densidad física como cobertura (equivalente al coeficiente de ocupación —COS), altura y profundidad de los edificios para observar los efectos en el acceso a la luz natural. En estudios más contemporáneos, Baker y Steemers (1995, 2000) desarrollaron el método LT, una herramienta para el diseño energético estratégico de no precisión, que busca calcular la demanda de energía de iluminación, calefacción y ventilación diferenciando zonas activas y pasivas (aquellas que necesitan energía y aquellas otras que pueden hacerse de sistemas pasivos para solventar luz, refrigeración y calefacción). Ratti et al. (2005) documentaron un efecto de casi el 10% en la relación entre la morfología urbana y el consumo energético anual por metro en edificios no residenciales. La mayoría de los estudios relacionados son aplicados a ciudades europeas y norteamericanas de climas fríos o templados, donde coinciden que a mayor altura de edificio, el área de obstrucción solar es mayor y repercute en el tiempo de exposición a la radiación directa (Ratti et al., 2005; Strømman-Andersen y Sattrup, 2011), el acceso pasivo a la radiación solar para iluminación y calefacción (Rode, Keim, Robazza, Viejo y Schofield, 2014). Por el contrario, autores que han analizado dicha relación en climas cálidos, han encontrado que morfologías más densas son capaces de crear microclimas más favorables y pueden repercutir a favor del ahorro de energía en las edificaciones (Shashua-Bar, Pearlmutter y Erell, 2009; Masmoudi y Mazouz, 2004; Ali-Toudert y Mayer, 2006).

Estudios más contemporáneos analizan configuraciones y formas específicas de los edificios a nivel urbano. Kämpf, Montavon, Bunyesc, Bolliger y Robinson (2010) compararon las repercusiones en el consumo mediante el uso de techos planos, techos inclinados y formaciones de patios, optimizando orientaciones y alturas de los edificios, cuyos resultados demostraron que el sistema de patios resulta ser óptimo para el clima frío de Basilea, Suiza. Basado en el método LT desarrollado por Baker y Steemers (2000), Ratti et al. (2005) exploran la estimación de los efectos de la textura urbana en el consumo energético de los edificios con un enfoque opuesto al de la ciencia de la construcción, definiendo valores por defecto para todas las variables, con excepción de aquéllos pertenecientes a la forma urbana como la proporción superficie/volumen de la textura y la sombra urbanas en tres ciudades distintas de clima frío (Londres, Toulouse y Berlín).

Hien, Jusuf, Samsudin, Eliza e Ignatius (2011) estudiaron el impacto de las condiciones urbanas en el consumo de edificios en el clima tropical de Singapur interpolando datos climáticos históricos y parámetros de morfología urbana como la altura de edificios, área expuesta, albedo promedio y factor de vista de suelo. Los modelos analizados fueron descritos y comparados utilizando los valores totales de área de construcción, coeficiente de utilización de suelo (CUS). El cálculo fue hecho mediante simulación energética en la herramienta Steve Tool (la cual genera predicciones de temperatura urbana) para diferentes casos en diferentes morfologías urbanas, y concluye que la altura de las edificaciones y la densidad muestran un alto grado de impacto al modificar la temperatura ambiente y por lo tanto en el desempeño del edificio, además de concluir que en las densidades menores con espacios más abiertos existe un incremento de temperatura durante el día por la cantidad de radiación recibida. Philipp Rode et al. (2014) analizaron la intensidad de la demanda de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>/año) en muestras de 500 m x 500 m a través de simulación energética que modela las ganancias solares y las pérdidas de energía a través de la envolvente

para calcular la demanda de calefacción utilizando el diagrama SpaceMate desarrollado por Berghauser, Salvati, Coch y Morganti (2017), explora el doble efecto de la compacidad urbana en el desempeño energético de los edificios del clima mediterráneo, enfocándose en el efecto de isla de calor y la disminución de la radiación solar disponible de las fachadas. Toma como referencia el coeficiente de ocupación (señalado como site coverage ratio en su estudio), y utiliza un modelo homogéneo normalizado de la textura urbana por medio de bloques repetitivos para realizar una simulación energética a través de Design Builder y EnergyPlus (v.8.1), utilizando además un archivo climático modificado que toma en cuenta el efecto de isla de calor. Los resultados de la demanda energética se muestran con valores de intensidad anual total (kWh/m<sup>2</sup> año) para el uso de calefacción y refrigeración, y obtiene una relación linear correlacional entre la compacidad y la demanda de refrigeración, disminuyendo su consumo en los apartamentos estudiados gracias a la reducción de la radiación incidente (que supera el efecto de isla de calor). En cuanto al uso de calefacción, no se muestra una relación linear, pero sí un descenso en consumo en los modelos de mayor compacidad. Estos resultados son consistentes con la metodología aplicada por Javanroodi et al. (2018) en el clima árido seco de la ciudad de Teherán al estudiar el impacto de la morfología urbana en el consumo de aire acondicionado y potencial de ventilación, estudiando los parámetros de morfología urbana y densidad definidos como: proporción entre volumen y área de construcción, coeficiente de ocupación COS (site coverage), coeficiente de utilización CUS (plot area ratio), densidad de edificios (número de edificios dividido entre el área de la muestra) y densidad en plano urbano. Los resultados se obtienen a través de varias herramientas de simulación en conjunto, tomando como motor de cálculo EnergyPlus. Un estudio en particular realizado en Suiza a nivel de barrio, crea tres distintos escenarios de análisis para una muestra de tejido urbano: (1) mejoras en los edificios, conservando la morfología del contexto; (2) densificación de acuerdo con los niveles permitidos por la nor-

mativa; (3) densificación con adaptaciones a la normativa. Se obtiene como resultado el análisis de efectos en densidad, movilidad, áreas verdes, costos de inversión, mezcla funcional y energía con base en estimaciones de cálculo con edificios de referencia y no un modelo que incluya las repercusiones físicas tomadas en cuenta por otros autores (Riera, Pérez y Rey, 2013).

Se presenta una metodología y su aplicación para el caso de estudio en la ciudad de Hermosillo (29°6'9" N, 110°58'38" O) con el objetivo de cuantificar el impacto de las variaciones de los parámetros de densidad COS, CUS y número de niveles, sobre la intensidad de uso de energía (kWh/m<sup>2</sup> año) en aire acondicionado y calefacción de las viviendas del clima cálido seco. Dicho proceso ayudará a evaluar la densificación como estrategia de mitigación del cambio climático y planeación urbana enfocada en la compacidad.

## MÉTODO

La metodología utilizada se estructuró en cinco etapas. La primera consistió en el (1) análisis del contexto y preexistencias ambientales del caso de estudio: ubicación, clima y tipo de crecimiento, para definir después una (2) muestra de morfología urbana (MMU) bajo los criterios óptimos de densificación en relación con la accesibilidad al transporte público, antigüedad y cronología de construcciones existentes por sectores, efecto de isla de calor, valor comercial y programas de mejoramiento existentes en la ciudad. Enseguida se definieron los (3) escenarios densificados manteniendo las dimensiones existentes de la trama urbana (vialidades y banquetas) y se modifican los valores COS y CUS bajo esquemas volumétricos que consideren una viabilidad en el crecimiento. La cuarta etapa corresponde a la (4) evaluación de los escenarios de forma individual, el escenario existente y los propuestos desde dos perspectivas: paramétrica y energética. En la primera, fueron calculados los parámetros de densidad y morfología de los escenarios que fueron presentados como base en la selección de la muestra de análisis y muestra de morfología

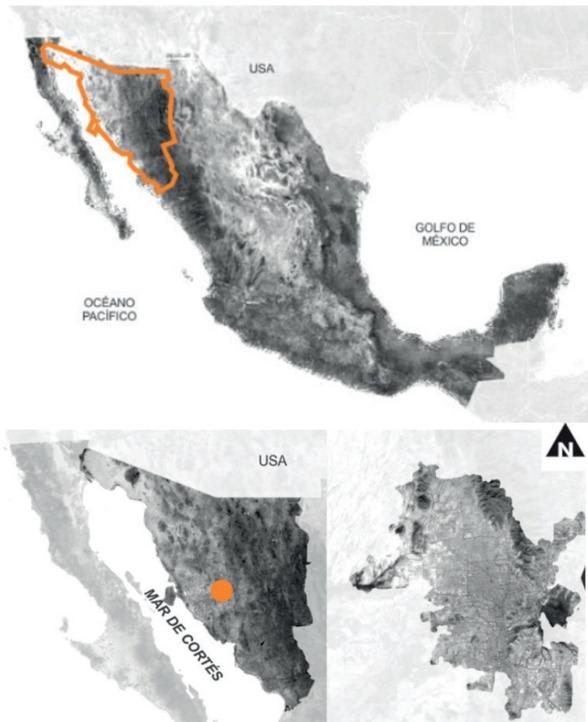
urbana: coeficiente de ocupación de suelo (COS), coeficiente de utilización de suelo (CUS). En la segunda etapa correspondiente a la evaluación energética, se efectuaron los cálculos referentes al comportamiento energético de las viviendas dentro de los escenarios propuestos en la MMU, utilizando el motor de cálculo EnergyPlus y la interfaz Design Builder para obtener la intensidad de uso de energía anual. Como quinta y última etapa se analizaron los (5) resultados por medio de gráficas de tres variables, tomando como referencia el diagrama SpaceMate desarrollado por Berghauser.

En este trabajo se intenta contribuir al estudio de las ventajas del crecimiento compacto a través de la densificación urbana, enfocándose en su impacto en el consumo energético de las viviendas.

## CASO DE ESTUDIO

**FIGURA 1**

Ubicación de la ciudad de Hermosillo, Sonora



Fuente: elaboración propia a partir de Google Earth (2021).

La ciudad de Hermosillo se localiza en el estado de Sonora, en México (29°6'9" N, 110°58'38" W) (figura 1). Cuenta con una superficie de 168.2 km<sup>2</sup>, que albergaba una población de 855,563 habitantes al año 2020 (INEGI, 2020a), con una densidad de 5,046 hab/km<sup>2</sup>. Comúnmente, ciudades de este tamaño no suelen ser analizadas en los estudios urbanos, pero es considerada una ciudad media según los estándares urbanos del país, que registran crecimientos físicos importantes en su extensión y demografía. Su crecimiento horizontal y expansivo en las últimas décadas ha sido tema de estudio reciente (Mercado y Marincic, 2017; López Ordóñez, 2015; López-Ordóñez, Crespo y Roset, 2018), trayendo consigo propuestas de redensificación de zonas urbanas existentes y cambios superficiales en la normativa que impulsen el desarrollo vertical en algunas áreas de la ciudad.

Su clima también aporta también cierta complejidad a la manera de vivir y diseñar ciudad.

Según la clasificación de Köppen, la zona metropolitana de Hermosillo tiene un clima de tipo cálido seco (BWh) (Beck, 2018). De acuerdo con la carta de climas del INEGI (2022b), que utiliza el sistema de Köppen modificado por Enriqueta García, Hermosillo cuenta con un clima "seco cálido muy seco". Pueden considerarse los meses de abril a octubre como temporada cálida, con temperaturas que van de los 24.3° hasta los 39.0° C, con una máxima extrema registrada de hasta 47.5° C. Durante el invierno (entre diciembre y febrero) el clima se caracteriza como templado con noches frescas y días tibios, temperaturas mínimas medias de 9.4° C hasta los 28° C durante el día.

## SELECCIÓN DE LA MUESTRA DE ANÁLISIS Y MORFOLOGÍA

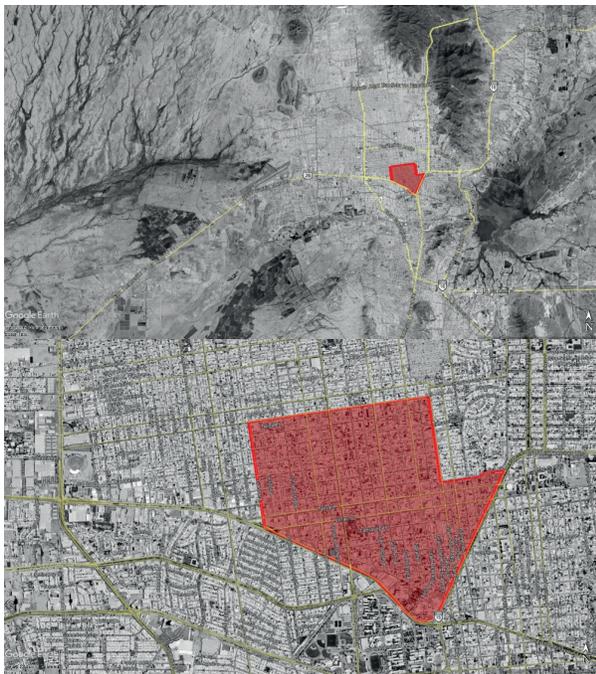
La selección de la zona de muestra se realizó de manera no probabilística y se basó en distintos enfoques utilizados a manera de filtros para la selección de la muestra: planeación de rutas inteligentes de transporte público, antigüedad y cronología de construcciones existentes por sectores, estudios del efecto de isla de calor, va-

lor comercial de las viviendas y terrenos, y programas de mejoramiento existentes en la ciudad.

Tras el análisis, se eligió la colonia San Benito como una de las zonas con más viabilidad para proyectos de densificación. Existe una tendencia actual de transformación urbana en la zona, donde las construcciones son adquiridas, derrumbadas y sustituidas en su mayoría por locales comerciales, bodegas y algunos departamentos. Es decir, el cambio de la morfología, uso y densidad está sucediendo actualmente, sin una tendencia planeada ni orientada al uso mixto de viviendas y comercio. Además, su homogeneidad en trazo facilita la cuantificación de resultados, ya que todas sus calles y avenidas poseen derechos de vía de aproximadamente 18 metros de ancho y bloques de manzana rectangulares cercanos a los 8,000 metros cuadrados de superficie con lotes de 12.30 x 40.50 metros aproximadamente (véase figura 2).

**FIGURA 2**

Ubicación de la colonia Modelo en la ciudad de Hermosillo y tipología de manzana y calles



Fuente: elaboración propia a partir de Google Earth (2021).

Se determinó una muestra de análisis de 57.69 hectáreas para el cálculo de densidad poblacio-

nal, de vivienda y de unidades mixtas, además de las características de su población y niveles de construcción. La tabla 1 muestra a manera de resumen dicha información. El 89% de construcciones se encuentran edificadas en un solo nivel y sólo el 11% presentan dos niveles. La mayor parte de ellas tiene uso habitacional con una densidad del 13.99 viviendas por hectárea.

**TABLA 1**

Resumen-muestra de análisis  
para la colonia San benito

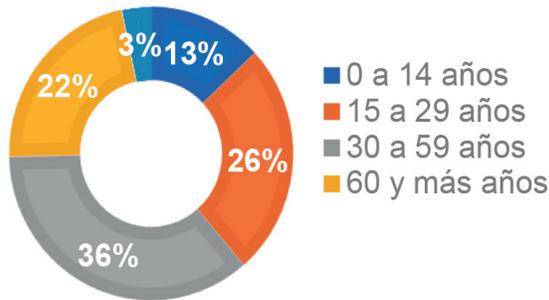
<b>Ficha resumen-muestra de análisis</b>			
Escenario: estado actual	San Benito		
Colindancias	Norte	Av. Michoacán	
	Este	Juan Aldama	
	Oeste	Priv. Gándara	
	Sur	Av. Aguascalientes	
Superficie de muestra	576,869.50	m <sup>2</sup>	
	57.69	Ha.	
	0.58	Km <sup>2</sup>	
Lotes	1,075.00	Lotes	
Superficie lote promedio	446.70	m <sup>2</sup>	
Construcción total	248,621.00	m <sup>2</sup>	100%
Un nivel	222,511.64	m <sup>2</sup>	89%
Dos niveles	26,109.36	m <sup>2</sup>	11%
Población	1,972.00		
Vivienda	807.00		
Comercios	321.00		
Densidad vivienda	13.99	viv/ha	
Densidad población	34.18	Hab/ha	
Densidad por unidad mixta	19.55	Unidad mixta/ha	

Fuente: elaboración propia.

Según el último censo del INEGI, la población dentro de la muestra es relativamente adulta, ya que sólo 13% pertenece al grupo de entre 0 y 14 años, mientras que 58% tiene más de 30 años (gráfica 1). La densidad de población / hectárea es de 34.18, un 27% menos que la tendencia total de Hermosillo al año 2015 y 43% menos del valor óptimo propuesto por el municipio.

**GRÁFICA 1**

Edad de población en muestra



Fuente: INEGI (2015).

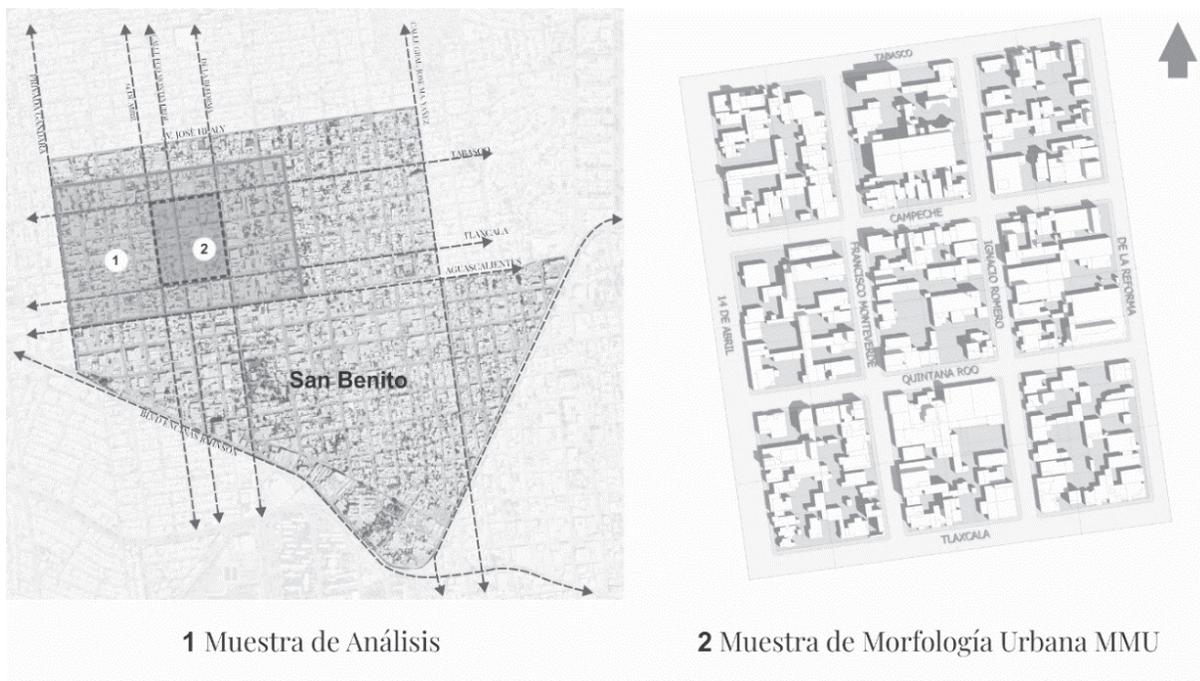
Dentro de la muestra de análisis, 18% de las viviendas se encuentran deshabitadas y se caracteriza por una densidad de 14 viviendas activas por hectárea. Este valor es 6.5 veces menor que el recomendado por los estudios publicados en el Ayuntamiento para dichas zonas. El 98% de la construcción se encuentra edificada a nivel de calle, mientras que sólo el 11% se presenta en un segundo nivel. Estos últimos datos son característicos de una zona considerada morfológicamente

de baja densidad cuando se hace referencia a la altura de las edificaciones.

Para el manejo de la información a escala urbana dentro de herramientas de simulación energética, la simplificación y reducción de variables es muy importante. Por lo cual se determinó una muestra de morfología urbana de mínimas dimensiones que cumple con la función de replicar la geometría urbana en torno a una unidad de análisis (una vivienda, una torre, una manzana) para cuantificar y estudiar los efectos al cambiar variables morfológicas. Cuenta como mínimo con nueve manzanas en total en una cuadrícula de 3 x 3 bloques, siendo el central el objeto de análisis. El bloque de manzana elegido para el estudio es representativo de la zona, cuenta derechos de vía de 18 metros en todos los sentidos y una superficie aproximada de 8,041 metros cuadrados (figura 3). Sus lados más largos se orientan al este y al oeste con una ligera orientación de ocho grados al noroeste. Colinda al norte con la avenida Campeche, al sur con la avenida Quintana Roo, al este con la calle Ignacio Romero y al oeste con la calle Francisco Monteverde.

**FIGURA 3**

Delimitación de la muestra de morfología urbana (MMU) en la colonia San Benito



Fuente: elaboración propia.

## DEFINICIÓN DE ESCENARIOS A EVALUAR

El estudio involucra la propuesta de múltiples escenarios de tejidos urbanos densificados de la MMU, modificando su densidad física y como consecuencia la morfología urbana. Estas opciones consideran y mantienen el arreglo existente de calles (dimensión y orientación) y bloques de manzana (80 m por lado). Dada la gran cantidad de configuraciones posibles de escenarios hipotéticos, la modificación de la morfología y geometría urbana dependerá estrechamente de la normatividad que regula los aspectos de alturas, límites de ocupación, y orientación preexistente de la vialidad. Por lo tanto, la propuesta o definición de los escenarios deberá contemplar los criterios al menos de forma básica. Se contempla entonces el reglamento de construcción de la ciudad de Hermosillo y el documento de ordenamiento territorial. En ambos casos se encuentran limitantes de coeficiente de ocupación de suelo, coeficiente de utilización, alturas máximas de edificación, y límites de construcción a partir de los límites de propiedad.

En la MMU la totalidad de los lotes o parcelas se catalogan de uso mixto por el PDMH, para el cual la edificabilidad permite considerar la verticalidad hasta en 12 niveles (no hace referencia a altura en metros). Además, la construcción dentro de cada lote es limitada por coeficiente de ocupación COS de 0.70, coeficiente de utilización de 8.40 y deberá tener un frente mínimo de ocho metros y una superficie mínima también de 200 metros cuadrados.

Además del COS especificado en el PDMH, deberá considerarse según la norma de construcción un área permeable del 5%, de la cual la mitad deberá ser vegetada, con el objetivo de mejorar la permeabilidad de la ciudad frente a los periodos de lluvia y generar un aumento de la masa vegetal en la ciudad.

Otra consideración importante será la que marca el plano de vialidades E8 del Programa de Desarrollo Urbano, que clasifica a las vialidades Monteverde y De la Reforma como “vialidad secundaria existente”. Para esta última existe una

restricción adicional de construcción de siete metros entre el límite de propiedad frente a la calle al interior del lote.

La elección de los escenarios parte, además, de la tendencia de compra y fusión de parcelas, y la oferta comercial aplicable. Además, se estudian tres formas de densificación: densificación horizontal, donde el crecimiento de ocupación del terreno sucede en el primer plano del terreno. Densificación vertical, respetando el coeficiente de ocupación de suelo promedio actual y proyectando un crecimiento de la superficie construida, aumentando el número de niveles. Y por último la combinación de la densificación horizontal y vertical. Debido a que los límites normativos en el área de estudio permiten la densificación, no se estudiará el caso fuera de los límites permitidos.

El desarrollo del experimento parte de la clasificación hecha por Martin y March en 1972 (figura 4). Para la MMU del caso, la forma genérica de desarrollo urbano lineal o tipo calle resultó mostrar más adaptabilidad a la tipología de desarrollo por lotes. Además, la tendencia de mercado inmobiliario en la zona muestra la fusión de dos a cuatro lotes, donde las construcciones existentes son reemplazadas por nuevos desarrollos, sucederá naturalmente si se visualiza desde la perspectiva de la manzana.

FIGURA 4

Formas genéricas urbanas,  
basadas en Martin y March



De izquierda a derecha: desarrollo puntual o de núcleo (tipo pabellón), el desarrollo lineal (tipo calle) y el desarrollo en bloque o periférico (tipo patio). Fuente: Martin y March (1972).

La definición de los escenarios densificados de la MMU se describe numéricamente por medio de coeficientes en la tabla 2 (coeficientes, superficies y potencial de vivienda aproximada considerando un uso total habitacional o mixto). De manera volumétrica, en la figura 5 se ejemplifican dichos escenarios con base en un lote típico de esqui-

na de 12.50 metros de frente por 40 metros de profundidad. Toma en cuenta los siete metros de restricción al frente del lote y la construcción se extiende a lo ancho sin dejar pasillos de servicio. El resto del terreno no ocupado pasa a ser parte del patio trasero, creando un nuevo cañón al interior de las manzanas. Esta tipología permite imaginar escenarios de bloques de vivienda que ocupen más de un lote y se extiendan a lo largo de la manzana. La restricción de los siete metros frontales se respeta para todas las vialidades, ya que en la práctica común puede utilizarse como aparcamiento de vehículos de la primera planta comercial o de apartamentos. Los escenarios son considerados homogéneos, es decir, no se analizan diferentes tipologías constructivas dentro del mismo bloque. Esto permitirá facilitar el cálculo y simulación de los mismos.

A. **Densificación horizontal.** En este escenario el crecimiento sucede de manera expansiva y de forma horizontal. Las nuevas edificaciones no sobrepasan los dos niveles de altura, pero aumentan en su superficie de construcción y de ocupación. Este escenario es elegido debido a que un aumento de COS y CUS no necesariamente está ligado a la verticalidad y sin embargo el aumento de densidad sucede limitadamente a los valores máximos normativos de ocupación y las consecuencias tanto en el clima urbano como el desempeño energético de las edificaciones estarán ligados a la reducción de áreas desocupadas que podrían ser jardines o zonas con vegetación.

B. **Densificación vertical.** En este escenario se busca una densificación de crecimiento sólo en altura. Parte también de los valores promedios bases del estado actual en COS y CUS y busca superar el coeficiente de utilización de suelo aumentando el número de niveles en las edificaciones y manteniendo la ocupación según el factor base de 0.55 de la muestra de análisis.

C. **Densificación horizontal + vertical.** Este último escenario combina las dos densificaciones de los escenarios A y B, partiendo también de los valores base COS de 0.55 y CUS de 0.78, respectivamente. Busca aumentar su ocupación e intensidad de uso tanto en suelo como aire. Para el caso particular de la colonia San Benito, estos valores se estudiarán hasta los límites máximos normativos (COS 0.70, CUS 8.40).

Cada tipología de densificación A, B y C cuenta con subescenarios de distintos niveles de intervención, que parten del escenario actual hasta llegar a los límites normativos. La tabla 2 muestra los valores de densidad netos, el parámetro COS y CUS, además de los niveles considerados en altura. Los valores netos de cada escenario son menores que su versión de valor bruto. Esta diferencia estará ligada al espacio no utilizado dentro de los lotes y a la dotación de espacio público, áreas verdes y vialidades, definido también como espacio Tara por Berghouser y Haupt (2007). La importancia del conocimiento y distinción entre ambos valores radica en la literatura de normativa y propuestas urbanistas para las ciudades, ya que en referencia a tejido urbano y crecimiento se suelen utilizar valores brutos, mientras que en normativas de construcción se especifican valores netos.

La figura 5 muestra las volumetrías resultantes de las densidades propuestas resultado de las alteraciones en los valores COS (0.55) y CUS (0.68.) para los escenarios y subescenarios propuestos. Hasta este punto no se han hecho valoraciones sobre los posibles aspectos positivos o negativos de los escenarios de estudio y los valores se muestran como netos, es decir, dichos valores sólo contemplan lo que sucede dentro de los lotes sin tomar en cuenta el tejido urbano de calles, banquetas y equipamientos (valor bruto).

**TABLA 2**  
Valores de densidad COS y CUS netos de escenarios densificados

	Niveles	Densidad		COS		CUS		
		Hab/ha	Viv/ ha	Neto	Bruto	Neto	Bruto	
<b>Actual</b>		<b>1 a 2</b>	<b>34</b>	<b>14</b>	<b>0.54</b>	<b>0.39</b>	<b>0.68</b>	<b>0.43</b>
<b>A Densificación horizontal</b>	<b>A.1</b>	1	35	20	0.60	0.44	0.60	0.44
	<b>A.2</b>	1	38	21	0.65	0.47	0.65	0.47
	<b>A.3</b>	1	41	23	0.70	0.51	0.70	0.51
<b>B Densificación vertical</b>	<b>B.1</b>	2	65	36	0.55	0.40	1.10	0.79
	<b>B.2</b>	4	130	72	0.55	0.40	2.20	1.56
	<b>B.3</b>	6	194	108	0.55	0.40	3.30	2.33
	<b>B.4</b>	8	259	144	0.55	0.40	4.40	3.10
	<b>B.5</b>	10	324	180	0.55	0.40	5.50	3.87
	<b>B.6</b>	12	389	216	0.55	0.40	6.60	4.64
<b>C Densificación horizontal + vertical</b>	<b>C.1</b>	2	71	39	0.60	0.44	1.20	0.86
	<b>C.2</b>	4	153	85	0.65	0.47	2.60	1.84
	<b>C.3</b>	6	247	137	0.70	0.51	4.20	2.96
	<b>C.4</b>	8	330	183	0.70	0.51	5.60	3.94
	<b>C.5</b>	10	412	229	0.70	0.51	7.00	4.92
	<b>C.6</b>	12	495	275	0.70	0.51	8.40	5.91

Fuente: elaboración propia.

## EVALUACIÓN

Las siguientes evaluaciones del estudio se dividen en paramétrica y energética. En la primera, se analizan los coeficientes y valores de los parámetros elegidos en los escenarios densificados. En la segunda, se observan los datos arrojados por la evaluación energética a través de la simulación en software.

### EVALUACIÓN PARAMÉTRICA

A partir de la propuesta de los escenarios A, B y C definidos por el número de niveles, COS y CUS, se estimaron los siguientes valores paramétricos:

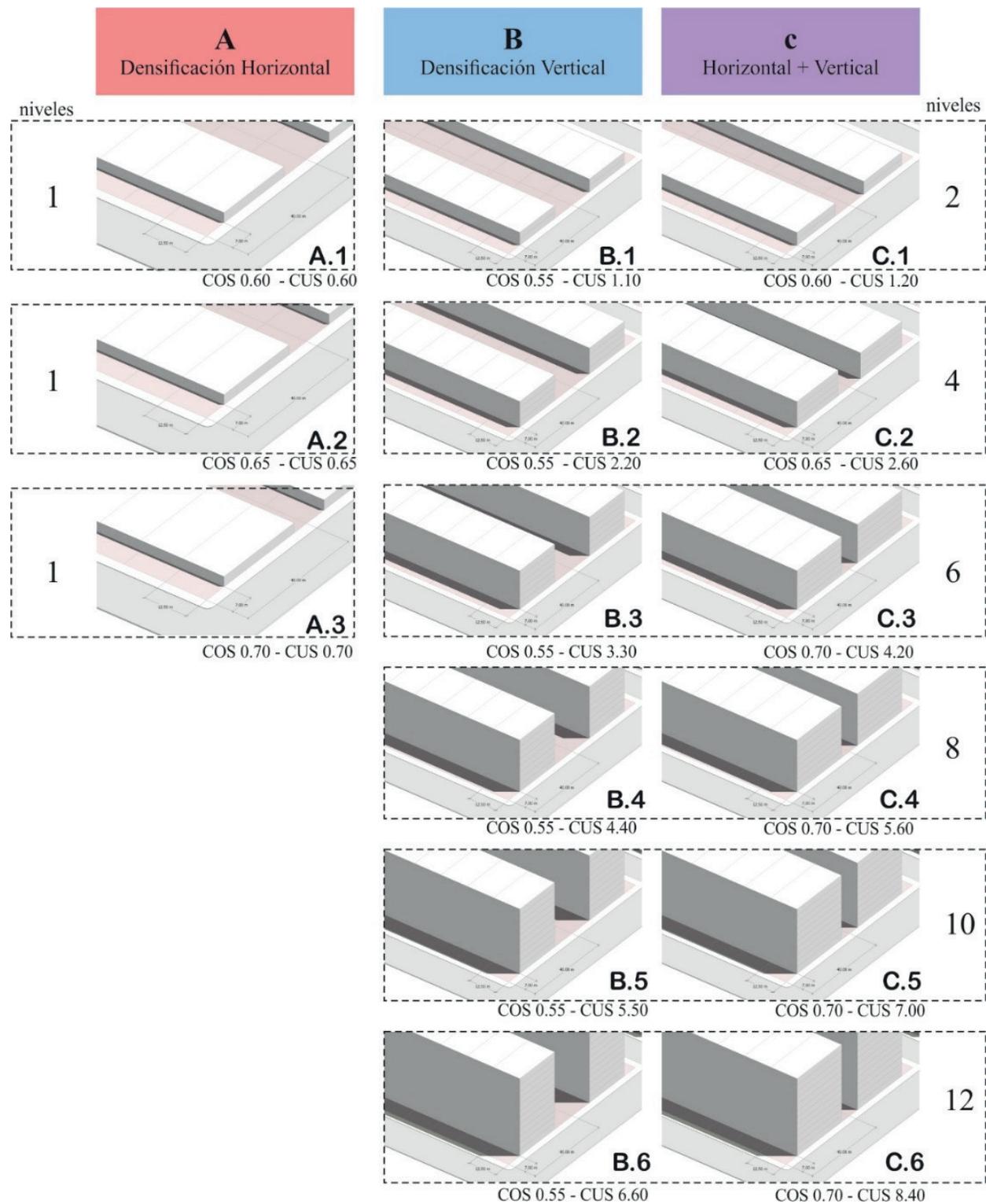
Proporción volumen / superficie de terreno (Vol/Lot). Para posibilitar el alcance del estudio, la proporción fue calculada utilizando valores medios de altura (2.80 metros por nivel). Por medio de la herramienta Arc Map de Autodesk, se procesaron datos catastrales GIS y se fabricaron reportes identificando las manzanas, superficie de lotes y la superficie construida por niveles. El volumen fue calculado multiplicando la superficie total por la altura media edificatoria.

Proporción de aspecto (H/w). Debido a la heterogeneidad de las construcciones en el estado actual de la muestra, el cálculo del parámetro H/w fue calculado a través de ocho secciones en dirección norte-sur, y seis secciones en la dirección este-oeste de cada manzana dentro de la MMU en los sentidos transversal y longitudinal.

Para los escenarios A, B y C donde las construcciones y ancho de vialidades se consideraron homogéneas, el cálculo de parámetros se realizó en hoja de cálculo, tomando en cuenta el número de niveles (2.70 m de altura promedio por nivel), el ancho de vialidad (18 m) y las restricciones de construcción (7m + 7m).

Proporción superficie de fachadas/superficie del terreno (Fach/Lot). En total, fueron analizados los 198 lotes y se consideró una altura promedio de 2.7 metros para calcular las superficies de fachada, multiplicándolo por los perímetros de las construcciones obtenidos de los reportes de ArcGIS por medio de hoja de cálculo. La superficie de terreno se obtuvo del mapa catastral de la ciudad de Hermosillo al año 2018. Para los subescenarios teóricos A, B y C se utilizaron los valores geométricos de cada propuesta, contemplando los niveles

**FIGURA 5**  
Imágenes volumétricas comparativas de los escenarios



Fuente: elaboración propia.

en altura, la profundidad y ancho de los bloques dentro de cada lote para obtener las superficies de fachadas y dividir las entre la superficie total de ocupación. Las fachadas medianeras o adosadas fueron eliminadas del cálculo.

Proporción superficie de fachadas/área de construcción (Fach/Const). Este parámetro busca cuantificar la compacidad de las construcciones bajo la premisa de que un menor valor tendrá una compacidad más alta. Para su cálculo se utilizaron los mismos datos y hoja de cálculo que el parámetro de proporción superficie de fachadas/superficie de lote, con la diferencia del valor denominador que utiliza la suma de los metros cuadrados de construcción en planta baja y planta alta en cada lote.

La tabla 3 recopila los resultados del cálculo y medición de los parámetros antes descritos para los escenarios y subescenarios A, B y C. De acuerdo con los valores objetivos de densificación del documento Rethinking Hermosillo, los escenarios B.2 (cuatro niveles, COS neto 0.55, CUS neto 2.20), B.3 (seis niveles, COS neto 0.55, CUS neto 3.30), C.2 (cuatro niveles, COS neto 0.65, CUS neto 0.260), C.3 (seis niveles, COS neto 0.70, CUS neto 4.20) muestran valores similares según el número de viviendas que puede albergar (viviendas con superficies entre 90 -120 m<sup>2</sup>) y considera una mezcla de 80% uso habitacional + 20% uso comercial. Mayores o menores escalas de densidad podrían representar la subutilización o sobreutilización del terreno para la escala de la ciudad.

**TABLA 3**

Evaluación de parámetros de densidad y morfología urbana de los escenarios densificados A, B y C para la MMU

		Parámetro			
		Vol/Lot	H/W	Fach/Lot	Fach/Const
<b>Actual</b>		<b>1.88</b>	<b>0.14</b>	<b>1.72</b>	<b>5.56</b>
A Densificación horizontal	A.1	1.62	0.08	1.67	4.46
	A.2	1.76	0.08	1.70	4.19
	A.3	1.89	0.08	1.73	3.95

		Parámetro			
		Vol/Lot	H/W	Fach/Lot	Fach/Const
B Densificación vertical	B.1	2.97	0.17	3.29	4.79
	B.2	5.94	0.34	6.59	4.79
	B.3	8.91	0.51	9.88	4.79
	B.4	11.88	0.68	13.18	4.79
	B.5	14.85	0.84	16.47	4.79
	B.6	17.82	1.01	19.76	4.79
C Densificación horizontal + vertical	C.1	3.24	0.17	3.35	4.46
	C.2	7.02	0.34	6.80	4.19
	C.3	11.34	0.51	10.37	3.95
	C.4	15.12	0.68	13.82	3.95
	C.5	18.90	0.84	17.28	3.95
	C.6	22.68	1.01	20.74	3.95

Fuente: elaboración propia.

### EVALUACIÓN ENERGÉTICA

Con el objetivo de evaluar la intensidad de uso de energía de las viviendas en los diferentes escenarios densificados, se llevó a cabo una serie de simulaciones utilizando el motor de cálculo EnergyPlus en la interfaz Design Builder (V 6.1.5.004) que consideran una etapa previa de ajustes y preparación, y otra de evaluación utilizando los valores previos obtenidos en materialidad y condiciones de cálculo.

### AJUSTES PREVIOS Y PREPARACIÓN PARA LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA

Para el ajuste de los valores de cálculo en propiedades físicas de materiales, porcentaje de acristalamiento y condiciones ambientales, se realizó una campaña de medición previa in-situ para corroborar la similitud entre las condiciones reales y las simuladas en los valores de temperatura superficial de fachadas de las edificaciones de la muestra para el día 24 de octubre de 2020. Para ello, se eligieron ocho edificaciones representativas (figura 6) bajo las siguientes consideraciones:

- Disposición para la toma: durante la toma de mediciones, algunas fachadas estuvieron bloqueadas por vehículos u otros elementos temporales. En otros casos, la presencia de personas fue respetada por privacidad. Se eligieron aquellas fachadas que además no estuviesen bloqueadas por vegetación, estructuras metálicas o bardas.

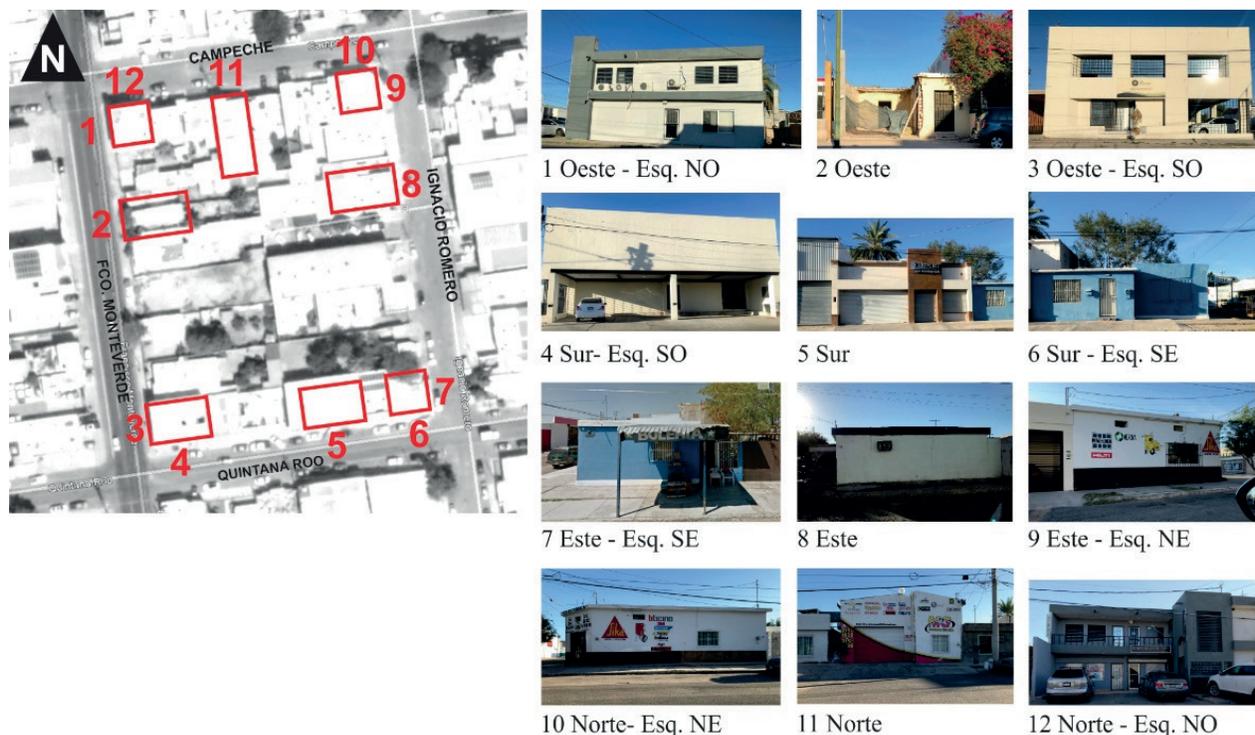
- Representación de orientación: en total se registraron 12 fachadas representativas de cada orientación y su situación de manzana. Las edificaciones en esquina cuentan con dos fachadas en dos orientaciones distintas, y las otras que se encuentran en centros de manzana cuentan sólo con una. Para identificarlas en las siguientes tablas y esquemas, fueron numeradas en el siguiente orden y título según muestran las figuras 6 y 7.

cia.Intl.AP.761600\_TMYX.2004-2018). Este archivo fue después modificado con los valores de temperatura y humedad monitoreados desde el portal Weather Underground (HERMOSIL47 29.082° N, 110.963° W).

Las mediciones de temperatura superficial de las fachadas se realizaron por medio de la cámara termográfica portátil del fabricante Fluke Thermography modelo Ti25 IR Fusion Technology, propiedad de la Universidad de Sonora (figura 8), número de serie 11020504. Esta herramienta

**FIGURA 6**

Ubicación de edificaciones dentro de la MMU para verificación



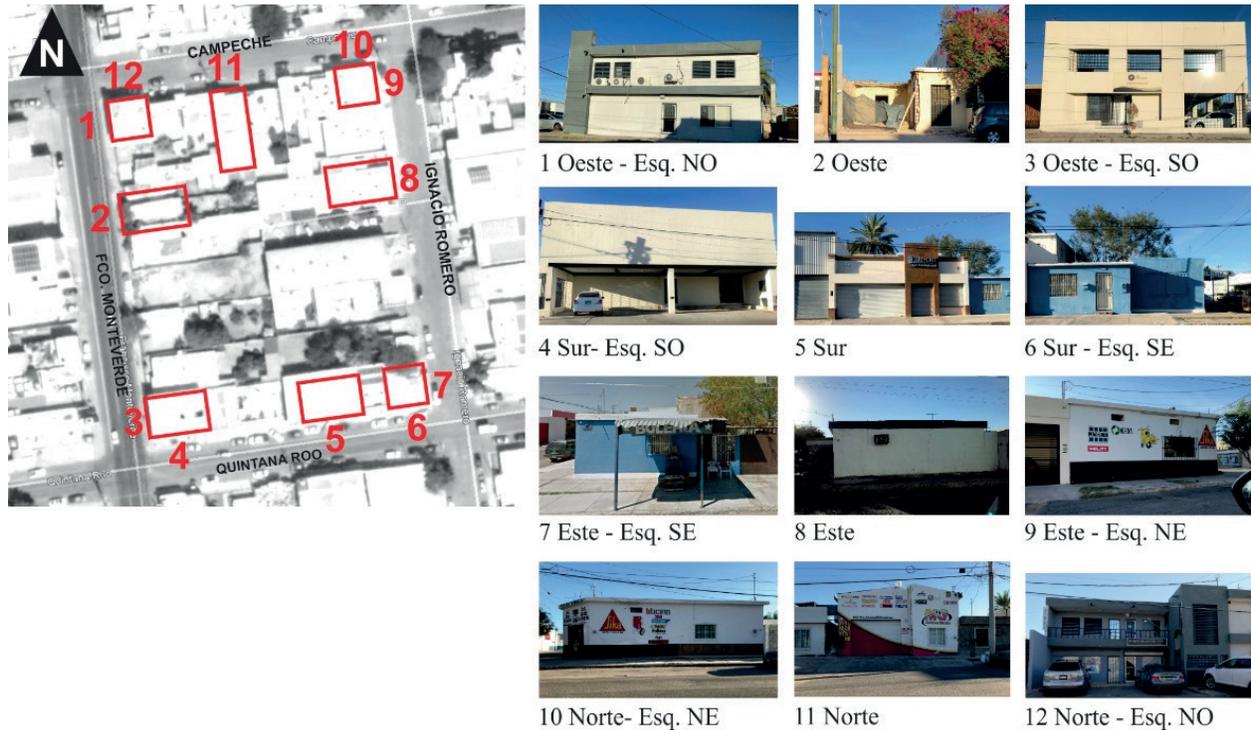
Fuente: elaboración propia a través de Google Earth (2021).

Con el objetivo de obtener resultados más cercanos a la toma in situ en las simulaciones, el archivo climático EPW utilizado dentro de la herramienta Design Builder cumple con los datos horarios de los días de medición (22 al 25 de octubre de 2020). Para ello se utilizó un archivo base en formato EPW del repositorio gratuito de datos climáticos para simulaciones de desempeño de edificios Climate. Onebuilding.org actualizada al 4 de julio de 2020 (nombre del archivo: MEX\_SON\_Hermosillo-Gar-

actúa como un procesador térmico de imágenes que produce imágenes térmicas y visuales en una pantalla LCD de 640 x 480 píxeles y pueden guardarse en una memoria SD integrada. Las imágenes registraron en tres tomas durante el día 24 de octubre de 2020: 10:00 a. m., 4:00 p. m., 7:00 p. m. de forma paralela a la fachada a una distancia aproximada de siete metros, tomando en cuenta la capacidad de apertura del lente.

**FIGURA 7**

Nomenclatura de fachadas seleccionadas de la MMU para verificación



Fuente: elaboración propia.

**FIGURA 8**

Cámara termográfica portátil



Fuente: elaboración propia.

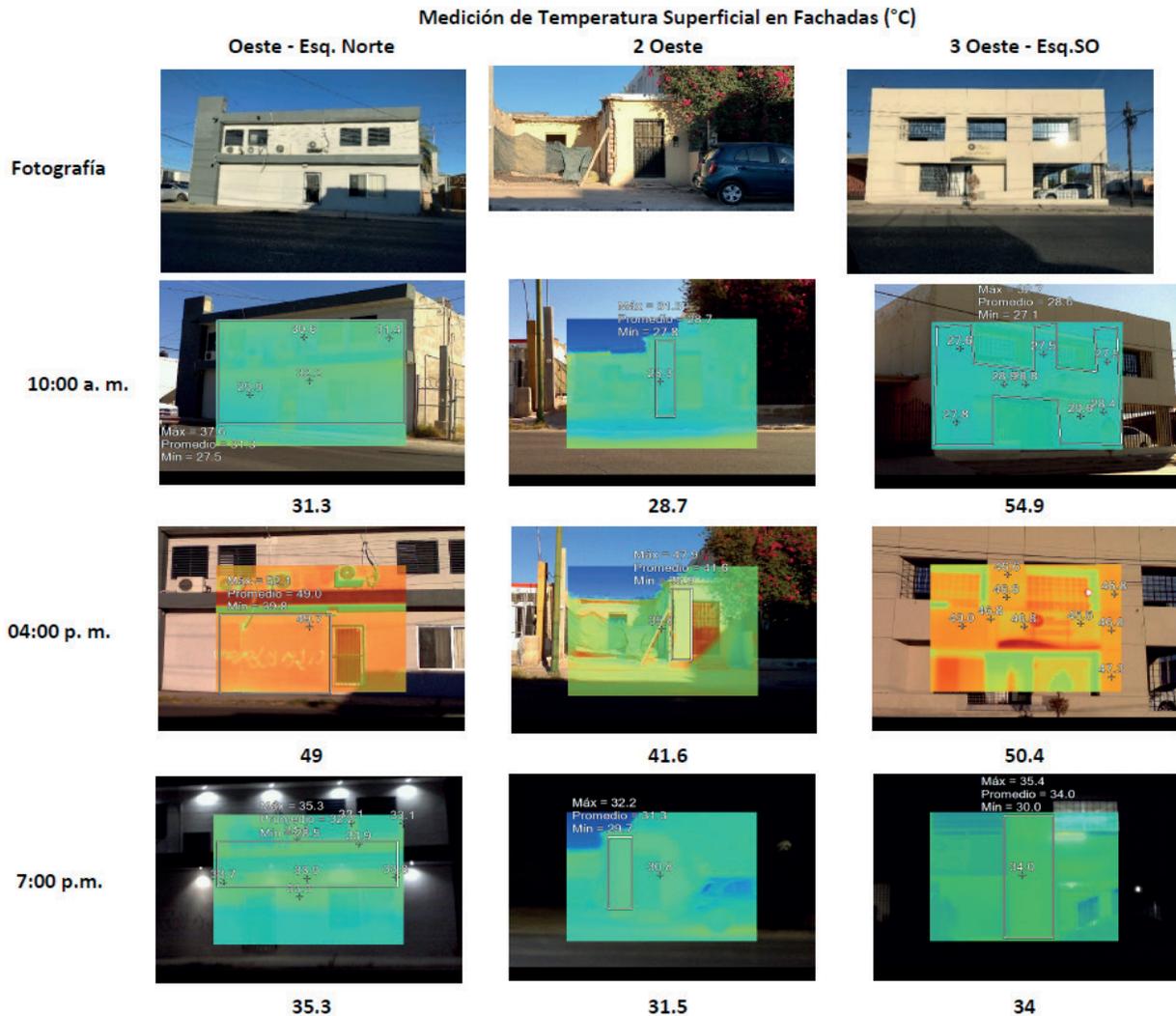
Posterior a la toma, se utilizó el software integrado SmartView® para realizar el análisis de las imágenes y la selección del área específica de fachada dentro de la imagen para obtener el valor promedio de temperatura superficial. Por

ejemplo, en la siguiente toma representativa de una fachada sur, se selecciona a manera de recuadro, específicamente el área de muro y se obtiene el valor máximo, promedio y mínimo. Ya que el objetivo de esta validación es su comparación con los resultados del simulador, se tomaron los valores promedio como dato principal.

A continuación se muestran los resultados de las tomas en las cuatro orientaciones de la manzana a tres distintas horas del día 24 de octubre de 2020, las fotografías del estado actual, las imágenes procesadas para la toma de la temperatura promedio de la superficie de muro de cada fachada, y la temperatura superficial promedio calculada. La figura 9 muestra un ejemplo del procesamiento de imágenes termográficas para una de las fachadas seleccionadas en la muestra. Este proceso fue aplicado para cada una de las 12 seleccionadas.

**FIGURA 9**

Ejemplo de toma de temperatura superficial para las fachadas oeste



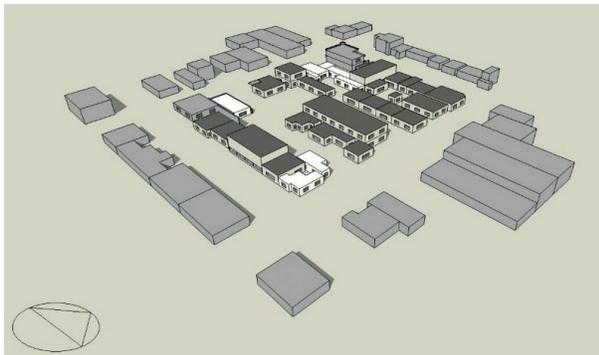
Fuente: elaboración propia.

El modelo creado en la interfaz de Design Builder (V 6.1.5.004) intenta emular el estado actual de la muestra de la morfología y las ocho edificaciones seleccionadas para la toma de temperatura en sus fachadas. Para ello, se crearon geometrías simples a partir de la herramienta Bloques de Edificios con una plantilla de relación muro-acristalamiento del 20%, resultado del análisis de fachadas de la muestra. Se incluyeron

además todas las demás edificaciones dentro de la manzana, como aquellas que la rodean para tomar en cuenta la proyección de sombras entre las mismas. La figura 10 muestra el modelo tridimensional de la MMU dentro de la interfaz, que incluye los 12 edificios analizados, los edificios adyacentes dentro del bloque de manzana y los bloques de edificaciones en las manzanas aledañas.

**FIGURA 10**

Esquema tridimensional del escenario actual en la interfaz del software Design Builder (V 6.1.5.004)



Fuente: elaboración propia.

Dado que la simplicidad de los métodos cumple un papel importante en el manejo de información a nivel urbano, la mayoría de las características térmicas de los materiales fueron obtenidas de tablas publicadas de fuentes oficiales y valores predeterminados por el programa. Se consideraron el día 24 de octubre y dos días anteriores para la simulación con resultados de forma diaria, horaria y subhoraria. Para el cálculo de sombreado se incluyeron todos los edificios con un algoritmo de modelado de cielo difuso simple. En la siguiente tabla se muestran los valores utilizados en los parámetros principales del modelo energético.

**TABLA 4**

Valores de ajuste del modelo energético para verificación de la MMU

Parámetro	Valor
Densidad de ocupación	0.016 personas/m <sup>2</sup>
Ganancias por ocupación	2.16 W/m <sup>2</sup>
Periodos de ocupación	Día de semana (lunes a viernes) 12-9 am, 4 pm-12 am / fin de semana (sábado y domingo): encendido
Consigna de calefacción	18° C

Parámetro	Valor
Periodo de calefacción	Encendido 24/7
Consigna de refrigeración	25° C
Periodo de refrigeración	Encendido 24/7
Ventilación natural	No
Tasa de infiltración	0.5 ren/h
Tipo de muro y transmitancia	Block de concreto con aplanados exteriores a base de mortero de cemento / enjarres interiores de yeso = 3.615 W/m <sup>2</sup> K
Tipo de losa y transmitancia	Losa de vigueta y casetón = 0.72 W/m <sup>2</sup> K (Agencia Danesa de Energía, 2017).
Absortancia térmica	0.6
Absortancia solar	0.6
Porcentaje de acristalamiento	20%
Tipo de acristalamiento y transmitancia	Vidrio sencillo de 6 mm -5.78 W/m <sup>2</sup> K
Protecciones solares	Ninguna
Modelo de cielo	Cielo difuso simple
Periodo de simulación	22 al 24 de octubre

Fuente: elaboración propia.

Tras la simulación, se obtuvieron los datos de temperaturas superficiales exteriores por componente de muro en la pestaña de análisis de la herramienta. Los resultados de la toma de temperaturas superficiales in-situ fueron comparados con las calculadas por Design Builder, como se muestran en la tabla 5, con una diferencia máxima promedio de 3.4° C, mínima promedio 0.7° C, y media de 1.8° C. Por lo que se concluye que, integrando las características superficiales adecuadas de los materiales, propiedades superficiales, orientación y morfología del entorno, la herramienta llega a resultados lo suficientemente cercanos a la realidad.

**TABLA 5**  
Comparación de temperaturas superficiales entre medición in-situ y simulación

Hora	1 Oeste - esq. norte			2 Oeste			3 Oeste - esq. so			4 Sur - esq. so		
	Temperatura (° C)											
	Medición	Simulación	Diferencia	Medición	Simulación	Diferencia	Medición	Simulación	Diferencia	Medición	Simulación	Diferencia
10:00 a. m.	31.3	28.3	3.0	28.7	26.2	2.5	54.9	41.6	13.3	38.8	37.7	1.1
04:00 p. m.	49.0	48.7	0.3	41.6	46.0	4.4	50.4	49.4	1.0	38.2	42.0	3.8
07:00 p. m.	35.3	37.2	1.9	31.5	35.3	3.8	34.0	37.4	3.4	33.4	32.4	1.0
	5 Sur			6 Sur- esq. se			7 Este - esq. se			8 Este		
10:00 a. m.	38.1	37.5	0.6	45.0	44.6	0.4	43.1	42.6	0.5	35.9	35.8	0.1
04:00 p. m.	38.1	44.3	6.2	44.7	44.2	0.5	N/D	36.6	-	34.9	33.0	1.9
07:00 p. m.	30.6	35.4	4.8	34.1	34.0	0.1	31.5	31.5	0.0	30.7	31.0	0.3
	9 Este - esq. ne			10 Norte - esq. ne			11 Norte			12 Norte - esq. no		
10:00 a. m.	33.3	35.2	1.9	29.6	29.5	0.1	27.6	26.4	1.2	29.9	27.9	2.0
04:00 p. m.	34.5	32.4	2.1	32.2	30.2	2.0	32.7	31.0	1.7	33.2	32.8	0.4
07:00 p. m.	29.9	32.4	2.5	28.7	29.0	0.3	29.0	29.3	0.3	29.6	31.0	1.4

Diferencias promedio entre medición y simulación	
Diferencia mínima	0.7° C
Diferencia promedio	1.8° C
Diferencia máxima	3.4° C

Fuente: elaboración propia.

### SIMULACIÓN ENERGÉTICA DE LOS ESCENARIOS

La simulación energética de los escenarios consideró los siguientes criterios que parten de la campaña de preparación de ajustes y la morfología de los escenarios existentes y densificados:

**Clima.** Para la simulación se utilizó el archivo EPW original (nombre del archivo: MEX\_SON\_Hermosillo-Garcia.Intl.AP.761600\_TMYX.2004-2018) para la ciudad de Hermosillo, obtenida del repositorio de datos climáticos Climate One Building Org.

**Edificios.** Se modelaron los edificios con la herramienta “bloques de edificio” nivel por nivel con las mismas propiedades de materiales y actividades representando las seis situaciones de contexto presentadas en la manzana y diseño de escenario. Los bloques adosados no modelados

a detalle fueron construidos con la herramienta “bloque de componente adiabático”, el cual representa en la simulación a un edificio con propiedades equivalentes al modelado en detalle. El detalle de modelado considerado representa las zonas térmicas de mayor importancia en un porcentaje de distribución de: recámaras 34%, aseo 7%, cocina 17%, área de estar 17% y circulaciones o servicios 24% (figura 11). Se utilizaron los valores de cargas térmicas predeterminadas del software sin considerar equipos de oficina.

**Entorno.** Fue modelado utilizando la herramienta “bloque de componente” tipo estándar, cuya geometría sólo interfiere en el cálculo de sombreado y no forma parte del panel de resultados de las simulaciones. Como se muestra en la figura 12, se modelaron únicamente los edificios en un contexto inmediato y no se tomó en cuenta vegetación o pavimentos.

**FIGURA 11**

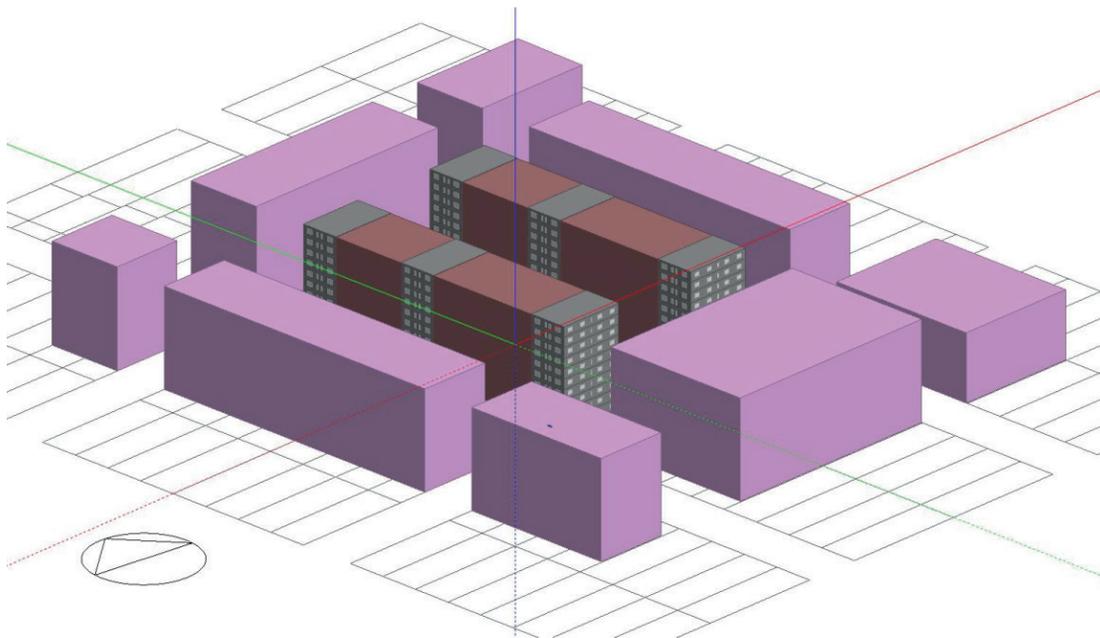
Ejemplo de zonificación interior dentro de la interfaz Design Builder



Fuente: elaboración propia.

**FIGURA 12**

Ejemplo de modelación de bloques de edificios y contexto en software Design Builder.  
Escenario densificado C.6.



Fuente: elaboración propia.

Actividad. Se utilizaron las plantillas precargadas del software según el tipo de área en la zona para facilitar la modelación de los edificios. Cabe recordar que dichas consideraciones fueron aplicadas en todos los niveles, de todos los bloques de edificios y en todos los escenarios:

- Cocina: Dwell\_DomKitchen\_Occ.
- Recámaras: Dwell\_DomBed\_Occ.
- Baños: Dwell\_DomCommonAreas\_Occ.
- Circulaciones: Dwell\_DomCirculation\_Occ.

Para determinar los valores para tipos de cerramientos, porcentaje de acristalamiento, sistemas de acondicionamiento y consumo de energía se utilizaron los mismos criterios que en la simulación del estado actual mostrados en la tabla 5. El periodo de simulación fue considerado de forma anual con desgloses mensuales de consumo eléctrico.

## RESULTADOS

Se efectuaron un total de 16 simulaciones que corresponden a los escenarios previamente definidos en la investigación. Se incluye el escenario de estado actual para el cual los parámetros de ocupación, utilización, alturas de edificaciones y materiales fueron normalizados para mayor simplicidad en el cálculo y modelo. En una primera fase se muestran los totales anuales de intensidad de uso de energía de cada uno de los escenarios, seguido por su comparación con los parámetros de mayor relación entre las características “morfología” y “densidad” según la bibliografía analizada: COS, CUS, y parámetros morfológicos (Vol/Lot, H/w, Fach/Lot y Fach/Const). Para dicho análisis se toma como punto de referencia el escenario actual (escenario E).

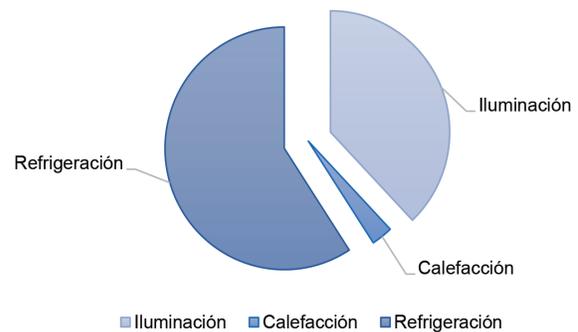
### INTENSIDAD DE USO DE ENERGÍA (IUE)

El desglose de consumo promedio anual de todos los escenarios que se muestran en la gráfica 11 analizados entre los usos analizados, arrojan

un aporte mayoritario por parte del uso de refrigeración, seguido por la calefacción y, por último, iluminación. Dicho resultado confirma la importancia de la investigación y búsqueda de estrategias para minimizar sus aportaciones en los edificios. A partir de aquí, las comparaciones con aspectos energéticos se enfocarán en el uso de refrigeración y calefacción.

**GRÁFICA 2**

Porcentaje de consumo de energía promedio anual para todos los escenarios



Fuente: elaboración propia.

La siguiente tabla muestra datos de la intensidad de uso de energía (EUI) (kWh/m<sup>2</sup>/año) desglosados por escenario y tipo de consumo final (refrigeración y calefacción). Como se puede observar, los escenarios tipo A que consideran sólo una densificación horizontal dentro de los límites normativos, reducen entre 6 y 12% el valor EUI y IEC comparados con el escenario existente. Mientras que en el escenario B, donde ocurre sólo una densificación vertical, las reducciones en consumo se observan sólo en los escenarios B.4 (7%), B.5 (15%) y B.6 (29%), es decir, en los escenarios con elevaciones de 8, 10 y 12 niveles que conservan el parámetro COS igual al escenario existente. Los escenarios C que consideran la densificación vertical+horizontal hasta los límites normativos alcanzan una mayor reducción considerable a partir del escenario C3 con bloques de seis niveles, llegando hasta una reducción de hasta el 57% en el escenario C6 debido a la disminución considerable en el uso de refrigeración.

**TABLA 6**

Resultados de intensidad de uso de energía en escenarios densificados A, B y C en muestra de colonia San Benito

Escenario		Intensidad de uso de energía kWh/m <sup>2</sup> /año			
		Calefacción	Refrigeración	Total	Dif.
Existente	E	1.07	36.62	37.70	-
A (Horizontal)	A1	1.0	34.3	35.34	6%
	A2	1.1	32.1	33.15	12%
	A3	1.1	32.1	33.15	12%
B (Vertical)	B1	0.8	41.7	42.4	-13%
	B2	1.0	37.2	38.2	-1%
	B3	0.7	37.6	38.3	-2%
	B4	0.8	34.2	35.0	7%
	B5	1.0	31.0	32.0	15%
	B6	0.8	25.8	26.7	29%
C (Horizontal + vertical)	C1	0.7	38.5	39.28	-4%
	C2	0.7	35.0	35.63	5%
	C3	2.7	18.9	21.65	43%
	C4	3.0	16.5	19.51	48%
	C5	3.3	14.5	17.81	53%
	C6	3.5	12.8	16.35	57%

Fuente: elaboración propia.

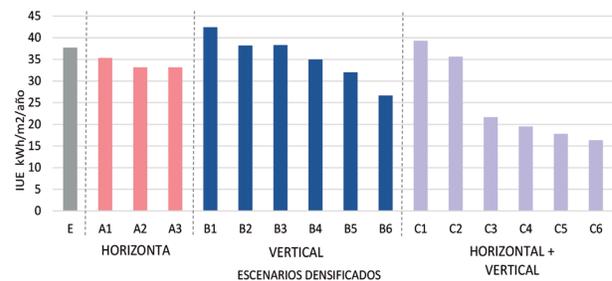
Como se muestra en la gráfica 3, con excepción de los escenarios B1, B2, B3 y B4 existe una tendencia a la disminución del consumo de energía cuando la densificación aumenta, ya sea en el sentido horizontal y/o vertical. Dichas excepciones, que representan un aumento en la IUE, se deben a la reducción de superficie en contacto con el terreno, que en los meses cálidos favorece la pérdida de calor a través del suelo. Por el contrario, las reducciones en consumo son más notorias en los escenarios tipo C (densificación horizontal y vertical), seguidos por los escenarios tipo B (densificación vertical) y por último el escenario tipo A (densificación horizontal).

Si se analiza la información por escenario, en todos ellos existe una tendencia de relación inversa entre el consumo de aire acondicionado y la densificación. Mientras que esta relación se vuelve directa si la comparamos con el uso

de calefacción. Cabe destacar que el escenario mayormente densificado, C6, es el que logra una mayor reducción en el consumo total de energía anual por metro cuadrado y uso de aire acondicionado, mientras que también se muestra con el mayor consumo de calefacción.

**GRÁFICA 3**

Intensidad de uso de energía anual (EUI) por escenario MMU, colonia San Benito

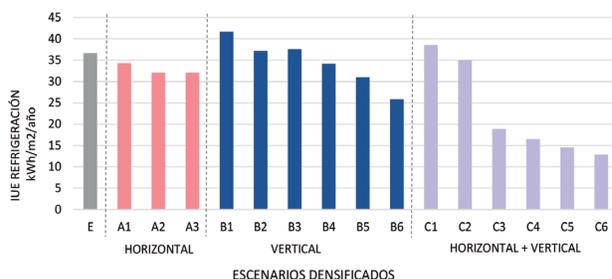


Fuente: elaboración propia.

Las gráficas 4 y 5 muestran los promedios anuales de intensidad de consumo pertenecientes a los usos de refrigeración y calefacción. De nueva cuenta, en las tres tipologías de densificación, A, B y C, se muestra una disminución continua en el uso de refrigeración (gráfica 14), mientras que en el uso de la calefacción esta relación es inversa y se vuelve más notoria en el escenario tipo C. Sin embargo, en valores totales de consumo anual, el aumento del uso de calefacción, tal como se muestra, no altera la tendencia de disminución de intensidad de uso de energía en los escenarios.

**GRÁFICA 4**

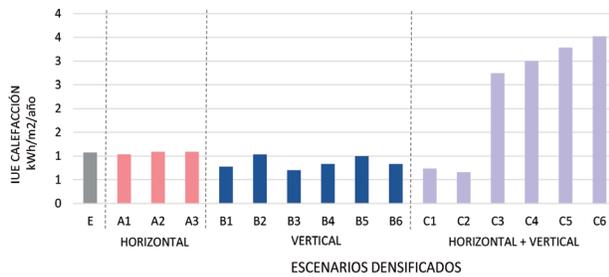
Promedio anual de intensidad de consumo de energía en uso de aire acondicionado para escenarios densificados de la colonia San Benito



Fuente: elaboración propia.

**GRÁFICA 5**

Promedio anual de intensidad de consumo de energía en uso de calefacción para escenarios densificados de la colonia San Benito



Fuente: elaboración propia.

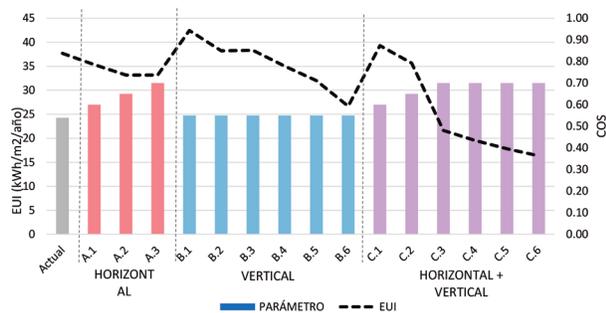
A continuación se comparan los parámetros morfológicos COS y CUS con la intensidad de uso de energía (IUE) de los escenarios densificados. El objetivo es observar la relación entre ambos y definir la viabilidad de utilización como referente de consumo de energía a nivel urbano.

**OCUPACIÓN Y UTILIZACIÓN**

La gráfica 6 muestra la relación entre los valores totales anuales de la intensidad de uso de energía (IUE) de los escenarios analizados y el coeficiente de ocupación de suelos de estos mismos. El gráfico muestra por escenario una relación inversa en los escenarios de densificación horizontal A1, A2 y A3, y los tres primeros del escenario C. En los escenarios que consideran un crecimiento sólo vertical (escenarios B1, B2, B3, B4, B5, B6, C3, C4, C5 y C6) la IUE sigue demostrando descenso, mientras que el valor COS se mantiene constante.

**GRÁFICA 6**

Relación entre IUE y COS por escenarios en la colonia San Benito

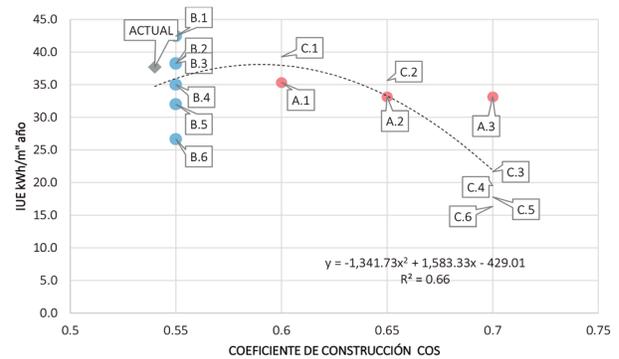


Fuente: elaboración propia.

La gráfica 7 muestra la relación entre los valores de IUE y COS con la R2 de 0.66, demostrando una relación por arriba de la media entre el parámetro y la IUE.

**GRÁFICA 7**

Línea de tendencia comparativa entre IUE y COS, colonia San Benito

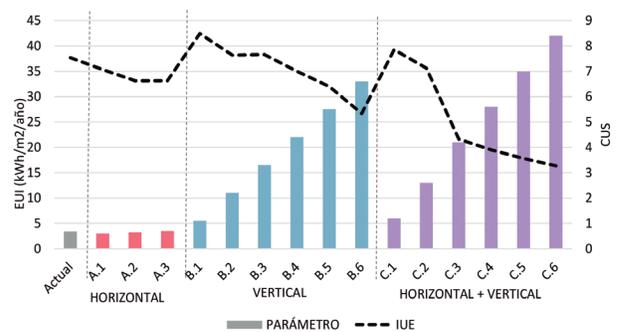


Fuente: elaboración propia.

Los valores que arroja la comparación entre IUE y CUS muestran una relación inversa constante en todos los escenarios densificados, a mayor valor CUS, menor la intensidad de uso de energía (gráfica 8). Los escenarios C (densificación en ambos sentidos) muestran una relación mucho más notoria. Según el resultado de la ecuación de la línea tendencial, el coeficiente de determinación R2 tiene un valor de 0.71, que puede calificarse como positivo (gráfica 9).

**GRÁFICA 8**

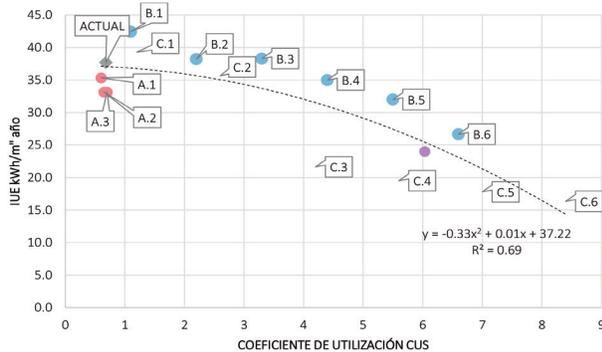
Relación entre IUE y CUS por escenarios, colonia San Benito



Fuente: elaboración propia.

**GRÁFICA 9**

Línea de tendencia comparativa entre IUE y CUS, colonia San Benito

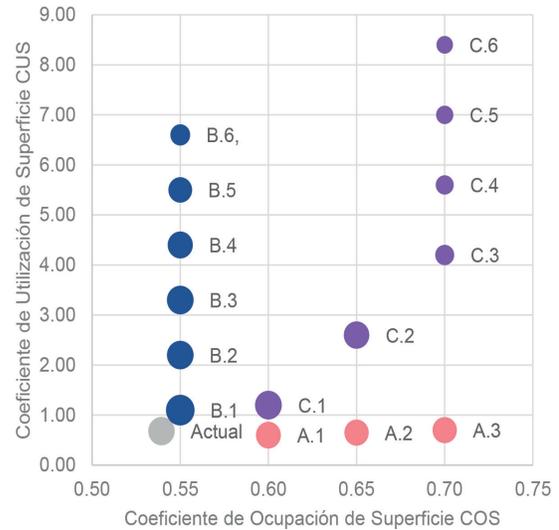


Fuente: elaboración propia.

A manera de resumen, la gráfica 10 muestra el ahorro de energía basado en el criterio desarrollado por Berghauser en su diagrama Spacemate. El gráfico permite visualizar tres variables: COS, CUS e IUE. El tamaño de la esfera representa la disminución o ahorro de la intensidad de consumo, mostrando que aquellos escenarios con mayor densificación en ambos sentidos logran una mayor disminución, seguido por la densificación únicamente vertical y que mantiene una ocupación de suelo igual a la existente. La densificación horizontal presenta una menor disminución en comparación con los otros escenarios. Los escenarios tipo A que consideran sólo una densificación horizontal dentro de los límites normativos, reducen entre 6 y 12% el valor EUI e IEC comparados con el escenario existente. Mientras que en escenario B donde ocurre sólo una densificación vertical, las reducciones en consumo se observan sólo en los escenarios B.4, B.5 y B.6, es decir, a partir de los escenarios con bloques de ocho niveles. Los escenarios C que consideran la densificación simultánea en sentido vertical y horizontal hasta los límites normativos, alcanzan una mayor reducción considerable a partir del escenario C3 con bloques de seis niveles, llegando hasta una reducción de hasta el 57% en el escenario C6 debido a la disminución considerable en el uso de refrigeración.

**GRÁFICA 10**

Comparativo de intensidad de uso de energía anual en escenarios A, B y C, COS y CUS de la colonia San Benito



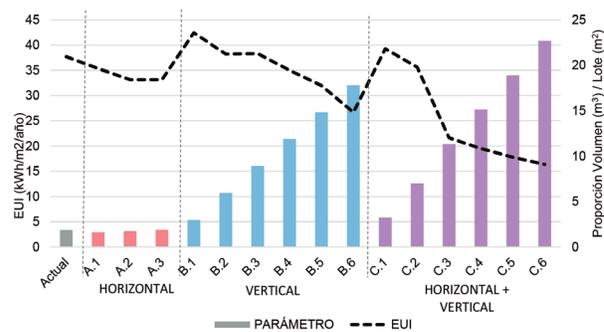
Fuente: elaboración propia.

**PARÁMETRO VOLUMEN/SUPERFICIE DE TERRENO**

La relación entre la intensidad de uso de energía y el parámetro volumen/superficie de terreno se muestra inversa en todos los escenarios densificados (gráfica 11). La gráfica 12 arroja una R2 de 0.7131, similar al parámetro anterior analizado, donde los escenarios C3 y C4 son los más alejados de la línea de tendencia.

**GRÁFICA 11**

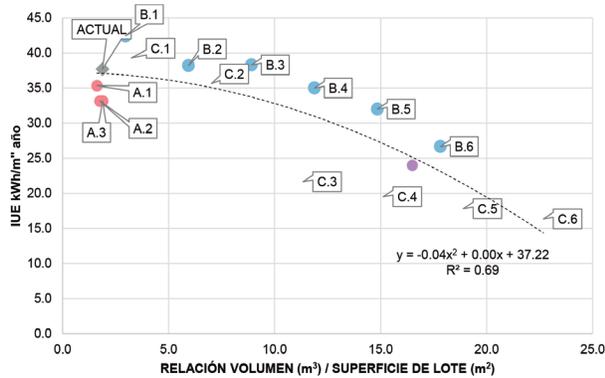
Relación entre IUE y proporción volumen / superficie de terreno (Vol/Lot)



Fuente: elaboración propia.

**GRÁFICA 12**

Línea de tendencia comparativa entre IUE y proporción volumen / superficie de lote (Vol/Lot)

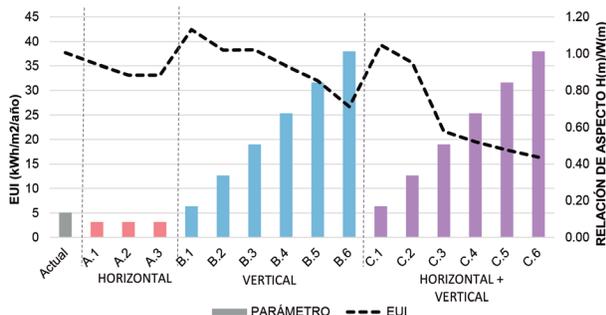


Fuente: elaboración propia.

**PARÁMETRO DE RELACIÓN DE ASPECTO H/W**  
La relación con el parámetro de relación de aspecto H/W muestra algunas diferencias entre el comportamiento de la intensidad de consumo y los valores del parámetro. En los escenarios con densificación horizontal donde el valor H/W se mantiene constante al no modificar la altura de las edificaciones, la IUE decrece, y es sólo en los escenarios con densificación vertical donde se observa una relación inversa entre ambos parámetros (gráfica 13). El coeficiente de determinación de los datos obtenido (gráfica 14) tiene un valor medio de 0.542.

**GRÁFICA 13**

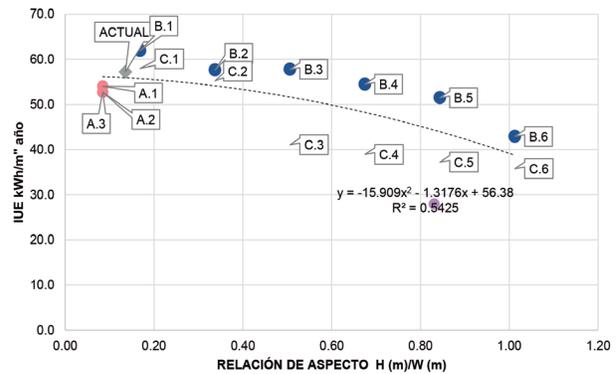
Relación entre IUE y relación de aspecto del cañón urbano (H/W) por escenarios de la colonia San Benito



Fuente: elaboración propia.

**GRÁFICA 14**

Línea de tendencia comparativa entre IUE y relación de aspecto del cañón urbano (H/W), colonia San Benito



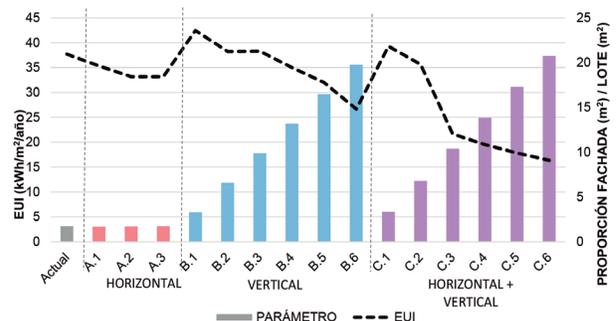
Fuente: elaboración propia.

**PARÁMETRO DE RELACIÓN FACHADA Y SUPERFICIE DE TERRENO**

La muestra como el parámetro proporción de superficie de fachadas de los escenarios estudiados se muestra con mayor intensidad de crecimiento en los escenarios que integran crecimiento vertical (B y C), mientras que en el escenario sólo con crecimiento horizontal, el cambio es menos gradual. En cuanto a su relación con la IUE, en todos los escenarios una relación inversa, cuanto mayor es la proporción fachada//lote menor es la intensidad de uso de energía. El coeficiente de determinación de los datos obtenido (gGráfica 28) tiene un valor medio de 0.59.

**GRÁFICA 15**

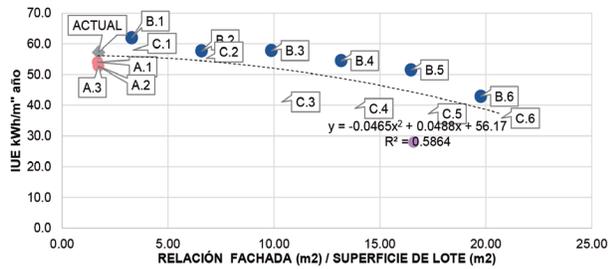
Relación entre IUE y parámetro de proporción de superficie de fachada y superficie de terreno por escenarios de la colonia San Benito



Fuente: elaboración propia.

**GRÁFICA 16**

Línea de tendencia comparativa entre IUE y proporción de superficie de fachada y superficie de terreno de la colonia San Benito



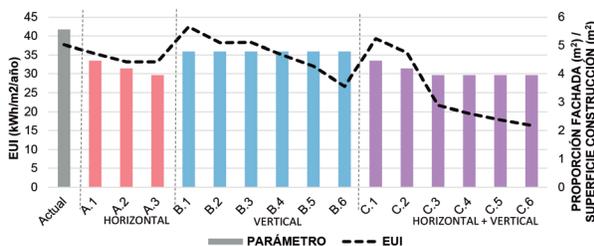
Fuente: elaboración propia.

**PARÁMETRO DE COMPACIDAD SUPERFICIE DE FACHADA/ ÁREA DE CONSTRUCCIÓN**

La relación con el parámetro de compacidad superficie de fachada/ área de construcción no muestra una relación directa con el comportamiento de consumo en todos los escenarios (gráfica 17). En aquéllos con densificación horizontal la relación es directa, y en aquéllos con densificación vertical, el consumo decrece mientras que el parámetro estudiado se mantiene debido a que no se modifica la compacidad de la volumetría. La gráfica 18 muestra una R2 de 0.50, lo que indica poca relación en los casos.

**GRÁFICA 17**

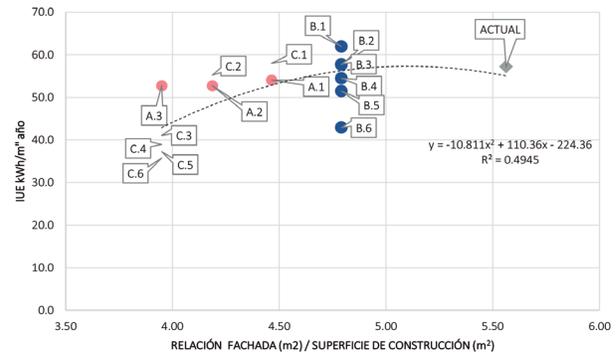
Relación entre IUE y parámetro de proporción de superficie de fachada y superficie de construcción por escenarios de la colonia San Benito



Fuente: elaboración propia.

**GRÁFICA 18**

Línea de tendencia comparativa entre IUE y proporción de superficie de fachada y superficie de construcción de la colonia San Benito



Fuente: elaboración propia.

**CONCLUSIÓN**

En el presente estudio se analiza la Intensidad de uso de la energía de 16 escenarios hipotéticos densificados basados en una muestra de tejido urbano del clima cálido seco. Relaciona dichos resultados con seis parámetros de densidad física: COS, CUS, Vol/Lot, H/w, Fach/Lot y Fach/Const. Al observar los resultados, las muestras coinciden en la reducción del consumo de energía cuando se densifica a partir de cuatro niveles o más. Es decir, una densificación poco intensa puede incluso llevar a un mayor consumo de energía y depender de otras estrategias (materia-lidad, tecnología) para contrarrestarlo.

Dentro del estudio comparativo entre los pa-rámetros morfológicos y la IUE, el valor COS no representa un parámetro proporcional al consumo de energía cuando lo relacionamos a la morfología; al contrario, el valor CUS representa una mayor relación entre la intensidad de consumo energético y la densidad con una R2 = 0.7. Dentro de los parámetros de morfológicos analizados, las proporciones Vol/Lot (R2 = 0.71) y CUS (R2 = 0.71) mostraron una mayor correlación con los datos de Intensidad de uso de energía, por lo que se sugiere, tienen capacidad de ser indicadores de estrategias de disminución de energía a nivel urbano. Mientras que la proporción de aspecto

de cañón urbano H/w y Fach/Const muestran la menor relación con el consumo.

La aplicación en un mayor número de muestras y formatos de densificación, complementarán en gran medida estas conclusiones. Sin embargo, la evaluación a escala de ciudad trae consigo una serie de limitaciones que quizá puedan ser solventadas en líneas futuras de investigación. A continuación se describen algunas de ellas:

- a. Monitoreo del clima. La disposición de datos climatológicos a microescala (según las escalas urbanas climáticas de Stewart y Oke (2012)) para la validación y ajuste de los parámetros en dentro de la herramienta de simulación.
- b. Acceso a la información geográfica y socio-demográfica. En el caso de Hermosillo, el acceso a la información fue a través de la plataforma de acceso público que ofrece el INEGI y publicaciones de asociaciones públicas. Sin embargo, el uso de estas fuentes no es aplicable fuera del país o incluso en otras ciudades.
- c. Faltan especificaciones en la normatividad local cuando se habla de densidad, ya que no se menciona la escala de valor: tejido de barrio, tejido de ciudad, manzana, etc. La variación del factor en estas escalas puede ser relativamente grande.

La propuesta desarrollada de la investigación siempre tuvo en consideración la aplicabilidad en un marco normativo para las ciudades que mejore las condiciones de vida de los habitantes, por lo que esta metodología buscó siempre la mayor simplicidad posible de las variables implicadas. Las aportaciones de los resultados y el proceso metodológico pueden observarse desde diferentes enfoques:

- Sustentar la estrategia de densificación urbana desde una perspectiva energética.
- La metodología y diseño del experimento puede extrapolarse a otros climas y modelos

de crecimiento cuando se desee comparar distintos escenarios a gran escala.

- La metodología logra discernir parámetros morfológicos con una mejor relación con el consumo de energía en el clima cálido-seco.
- Aborda la densificación no sólo desde la perspectiva más estudiada según el estado del arte: movilidad y gestión de recursos. Sino que toma en cuenta el factor climático y las implicaciones que tendrían las distintas posibilidades de reestructuración de la ciudad.
- Normatividad. La forma de trasladar estas conclusiones a un marco normativo será a través de la integración de los parámetros morfológicos con la mejor relación con la IUE, integrando valores mínimos y máximos dentro de los tejidos urbanos en las áreas a densificar.

El modelo establecido logra cuantificar el impacto de la densificación en las muestras de análisis con resultados consistentes de reducción en el consumo para ciertos escenarios y que, además, los parámetros morfológicos elegidos sí tienen una relación con la intensidad de consumo de energía y por lo tanto son considerables para establecer recomendaciones o lineamientos de diseño en la reestructuración de las ciudades. A futuro, integrar nuevas líneas de investigación mejorará el proceso y complementará la observación de los efectos de la densificación. A continuación se presentan algunas de las líneas que surgen a partir de este trabajo:

- Es importante reproducir la aplicación de esta metodología en más estudios de casos en otras ciudades de clima cálido seco. Así como diferentes orientaciones de trama y diseño de edificios. Esto permitirá reforzar los resultados y la comprobación de la hipótesis planteada.
- El uso de los parámetros morfológicos estudiados abre una línea de investigación para el desarrollo de herramientas geoespaciales y de procesamiento de datos que busquen facilitar su cálculo.

- Esta metodología puede aplicarse a otros tipos de clima bajo los mismos objetivos planteados en esta investigación.
- La integración de los resultados a otras metodologías dentro de la valorización de la densificación como estrategia de crecimiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Danesa de Energía, y Low Carbon Architecture. (2017). Catálogo de tecnologías. Tecnologías energéticamente eficientes para la envolvente térmica de las edificaciones. Secretaría de Energía-Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.
- Baker, N., y Steemers, K. (1995). *The LT Method 2.0: An Energy Design Tool for Non-domestic Buildings*. Cambridge: Cambridge Architectural Research Ltd.
- . (2000). *Energy and Environment in Architecture: A Technical Design Guide*. Londres: Taylor & Francis.
- Batty, M. (2009). Defining Density. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36(4): 571 y 572. doi: <https://doi.org/10.1068/b3604ed>.
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., y Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5(1): 180-214. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- Berghauer Pont, M. Y., y Haupt, P. A. (2007). The relation between urban form and density. *Urban Morphology*, 11(1): 62-65.
- Berghauer Pont, M., y Haupt, P. (2010). *Spacematrix: Space, density, and urban form*. Rotterdam: NAI.
- Bruegmann, R. (2005). *Sprawl: A compact history*. Chicago: University of Chicago Press.
- Fernández Per, Aurora. (2007). *Density Proyectos, 36 nuevos conceptos de vivienda colectiva*. Gráficas Santamaría.
- Forsyth, A., Brennan, C., Escobedo Ruiz, N., y Scott, M. (2016). *Revitalizing Places: Improving Housing and Neighborhoods from Block to Metropolis*. Cambridge, MA: Harvard University Graduate School of Design. Recuperado el 24 de mayo de 2022 de [https://research.gsd.harvard.edu/socialhousingmexico/files/2016/09/rp\\_book\\_090116\\_lp\\_hq.pdf](https://research.gsd.harvard.edu/socialhousingmexico/files/2016/09/rp_book_090116_lp_hq.pdf)
- Habibi, S., y Asadi, N. (2011). Causes, results and methods of controlling urban sprawl. *Procedia Engineering* (vol. 21, pp. 133-141). Elsevier Ltd. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.1996>.
- Hien, W. N., Jusuf, S. K., Samsudin, R., Eliza, A., e Ignatius, M. (2011). A Climatic Responsive Urban Planning Model for High Density City: Singapore's Commercial District. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, pp. 323-330. <https://doi.org/10.5390/susb.2011.2.4.323>
- Hui, S. C. (2001). Low energy building design in high density urban cities. *Renewable Energy*, 24(3-4): 627-640. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(01\)00049-0](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(01)00049-0)
- Indovina, F. (2007). *La ciudad de baja densidad. Lógicas, gestión y contención*. (Vol. 1). Barcelona, España: S. A. de Litografía.
- INEGI. (2020a). *SCINCE Censo de Población y Vivienda 2020*. Recuperado el 20 de mayo de 2022 de <https://gaia.inegi.org.mx/scince2020/>
- . (2020b). *Climatología*. <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/>
- Javanroodi, K., Mahdavinejad, M., y Nik, V. M. (2018). Impacts of urban morphology on reducing cooling load and increasing ventilation potential in hot-arid climate. *Applied Energy*, pp. 714-746. doi: [10.1016/j.apenergy.2018.09.116](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.116).
- Kämpf, J. H., Montavon, M., Bunyesc, J., Bolliger, R., y Robinson, D. (2010). Optimisation of buildings' solar irradiation availability. *Solar Energy*, pp. 596-603. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.07.013>.
- Lariviere, I., y Lafrance, G. T. (1999). Modelling the electricity consumption of cities: Effect of urban density. *Energy Economics*, núm. 21, pp. 53-66. doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(98\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(98)00007-3).
- López Ordóñez, C. (2015). *Análisis de la radiación en las calles de Barcelona y de Hermosillo*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- López-Ordóñez, C., Crespo, I., y Roset, J. (2018). Condiciones ambientales del espacio público de ciudades dispersas en clima desértico-cálido. *Proceedings of ISUF-H 2018. Ciudad y formas urbanas: Perspectivas transversales* (pp. 117-128).

- Martin, L., March, L., Bullock, N., Dickens, P., Steadman, P., Echenique, M. C., y Lindsay, W. (1972). *Urban Space and Structures*. (L. Martin, ed.) Cambridge: Cambridge University Press.
- Masmoudi, S., y Mazouz, S. (2004). Relation of geometry, vegetation and thermal comfort around buildings in urban settings, the case of hot arid regions. *Energy and Buildings*, 36(7): 710-719. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.01.043>
- Mercado, L., y Marincic, I. (2017). Morphology of the urban heat island of Hermosillo, Sonora and the contribution towards a sustainable city. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, pp. 26-33.
- Moreno, G., y Steadman, P. (2014). The relationship between density, built form and design. En: P. M. Carmona, *Explorations in Urban Design: An Urban Design Research Primer* (p. 193). California, Estados Unidos: Ashgate Publishing, Ltd.
- Naciones Unidas. (2020, 17 de junio). Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas. Recuperado el 28 de febrero de 2021 de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- . (2021). Naciones Unidas. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Nevado García, E. (2019). Termografía del cañón urbano: Uso de la perspectiva para una evaluación térmica global de la calle. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Olgay, V. (1967). Bioclimatic orientation method for buildings. *International Journal of Biometeorology*, pp. 163-174.
- Olgay, V., y Olgay, A. (1963). *Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism: Some chapters based on cooperative research with Aladar Olgay*. Princeton University Press.
- Ratti, C., Baker, N., y Steemers, K. (2005). Energy consumption and urban texture. *Energy and Buildings*, 37(7): 762-776. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.10.010>.
- Riera Pérez, M. G., y Rey, E. (2013). A multi-criteria approach to compare urban renewal scenarios for an existing neighborhood. Case study in Lausanne (Switzerland). *Building and Environment*, núm. 65, pp. 58-70. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.03.017>
- Rode, P., Keim, C., Robazza, G., Viejo, P., y Schofield, J. (2014). Cities and Energy: Urban Morphology and Residential Heat-Energy Demand. *Environment and Planning B: Planning and Design*, pp. 138-162. <https://doi.org/10.1088/b39065>
- Salazar, J. (2001). Expansión o densificación? Reflexiones en torno al caso Bogotá. *Revista Bitácora Urbano-Territorial*, pp. 21-35.
- Salvati, A., Coch, H., y Morganti, M. (2017). Effects of urban compactness on the building energy performance in Mediterranean climate. *Energy Procedia*, pp. 499-504. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07>.
- Salvati, A., Palme, M., Chiesa, y Kolokotroni, M. (2020). Built form, urban climate and building energy modelling: Case-studies in Rome and Antofagasta. *Journal of Building Performance Simulation*, pp. 2255-2262. <https://doi.org/10.1080/19401493.2019.1707876>
- Shashua-Bar, L., Pearlmutter, D., y Erell, E. (2009). The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate. *Landscape and Urban Planning*, 92(3-4): 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.04.005>
- Steadman, P. (1977). Energy and Patterns of Land Use. *JAE*, 30(3): 62-67. <https://doi.org/10.2307/1424311>
- Steemers, K. (2003). Energy and the city: Density, buildings and transport. *Energy and Buildings*, núm. 35, pp. 3-14. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00075-0](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00075-0)
- Stewart, I. D., y Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12): 1879-1900. <https://doi.org/10.1175/bams-d-11-00019.1>
- Strømman-Andersen, J., y Sattrup, P. A. (2011). The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. *Energy and Buildings*, 43(8): 2011-2020. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.04.007>
- Vaggione, P. (2014). *Planeamiento urbano para autoridades locales*. Bogotá: UN-Habitat.
- Zapatero Santos, M. A. (2017). *La densidad urbana: Concepto y metodología*. Madrid. <https://oa.upm.es/45491/>

# Aplicaciones de la modelación energética de edificaciones: revisión y casos de estudio en México

## *Applications of Building Energy Modeling: Review and Case Studies in Mexico*

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i12.213>

### **JORGE LUCERO ÁLVAREZ**

Universidad Autónoma de Chihuahua, México / ORCID: 0000-0001-5203-3857

Correo electrónico: [jluceroa@uach.mx](mailto:jluceroa@uach.mx)

### **NATHALIE SOCORRO HERNÁNDEZ QUIROZ**

Universidad Autónoma de Chihuahua, México / ORCID: 0000-0001-5158-3355

Correo electrónico: [nhernandez@uach.mx](mailto:nhernandez@uach.mx)

### **JESÚS ÁNGEL ESTRADA AYUB**

Universidad Autónoma de Chihuahua, México / ORCID: 0000-0003-4690-952X

Correo electrónico: [aayub@uach.mx](mailto:aayub@uach.mx)

Recepción: 2 de enero de 2022. Aceptación: 28 de marzo de 2022.

## **RESUMEN**

En este trabajo se presenta una revisión sobre la utilidad actual que tienen los programas que simulan el desempeño energético de edificaciones. Las aplicaciones de dichos programas tienen un fin común: contar con edificios más eficientes en cuanto a consumo de energía se refiere. La simulación del desempeño energético de edificios puede ser aplicada en las primeras etapas de diseño del edificio; durante la remodelación de un edificio para mejorar el desempeño térmico; para justificar o evaluar normas sobre eficiencia energética en edificaciones; o bien para evaluar el desempeño de un determinado material, sistema constructivo u otros componentes del edificio. En este trabajo también se exponen resultados de dos trabajos de investigación donde se utilizan dos diferentes programas de simulación energética de edificaciones. En el primer caso se

utilizó el programa TRNSYS para evaluar el efecto de propiedades térmicas del techo sobre el costo de la energía de un edificio residencial. Para ello se utilizó un modelo de simulación energética de una vivienda de interés social y un análisis paramétrico para variar los valores de reflectancia solar, emisividad y aislamiento térmicos bajo condiciones climáticas de 20 ciudades mexicanas. Los resultados muestran ahorros en el costo anual de la energía de entre 3,288 y 5,436 pesos mexicanos al usar techos reflectivos en ciudades de las zonas térmicas 1 y 2. En el segundo caso corresponde a la calibración un modelo de simulación realizado con OpenStudio para evaluar el desempeño energético de un edificio académico. Las temperaturas del aire y de las paredes del edificio simulaciones fueron comparadas con mediciones in situ durante un periodo de tres semanas. Los resultados muestran la necesidad de detallar componentes del modelo de simulación;



por ejemplo, elementos externos de sombreados, para alcanzar niveles adecuados de calibración.

Palabras clave: simulación energética de edificios, BIM, TRNSYS, OpenStudio, eficiencia energética.

## ABSTRACT

This paper presents a review of the current utility of software that simulates the energy performance of buildings. The applications of this software have a common purpose: to have buildings that are more efficient in terms of energy consumption. The building energy simulation of the energy can be applied in the early stages of building design or during the remodeling of a building to improve thermal performance. Other applications are to justify or evaluate standards on energy efficiency in buildings, and to evaluate the performance of new materials, construction system or other building components. This paper also presents the results of two research works that were done with different building simulation software. In the first case, a residential building is modeled using the software TRNSYS to evaluate the effect of roof thermal properties on the energy cost. To do this, an energy simulation model of a social housing was used to vary the values of solar reflectance, infrared emissivity, and thermal insulation under climatic conditions of 20 Mexican cities. The energy model revealed that an annual energy saving between 3,288 and 5,436 Mexican pesos can be achieved by use of reflective roofs in cities in thermal zones 1 and 2. The second case corresponds to the calibration process of a building simulation model made with OpenStudio to evaluate the energy performance of an academic building. Air and wall temperatures of the simulated building were compared with in-situ measurements over a three-week period. The results show the need to detail components of the simulation model, for example, external elements of shading, to reach adequate levels of calibration.

Keywords: building energy modeling, BIM, TRNSYS, OpenStudio, energy efficiency.

## LISTA DE ABREVIATURAS

BIM:	Building Information Modeling.
BPS:	Building Performance Simulation.
HVAC:	Heating - Ventilation - Air conditioning.
DBM:	Dynamic Building Modeling.
BES:	Building Energy Simulation.
ACVE:	análisis de ciclo de vida del edificio.
RS:	reflectancia solar.
EI:	emisividad infrarroja
ASHRAE:	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
MCF:	materiales con cambios de fases.
USD:	United States Dollar.
CAE:	costo anual de la energía.
ECM:	error cuadrático medio.
EAM:	error absoluto medio.

## INTRODUCCIÓN

Con el surgimiento de la cuarta revolución industrial se ha desarrollado una amplia gama de software de modelación y simulación aplicada en diversas disciplinas. En la digitalización de la industria de la construcción de edificaciones se pueden considerar dos vertientes: el modelado de información de edificio (BIM, Building Information Modelling), que es una tecnología que propone una práctica integrada para el diseño de edificios, y la simulación del desempeño de los edificios (BPS, Building Performance Simulation), que integran la simulación de transferencia de calor en la estructura del edificio, el flujo de aire dentro y a través del edificio, la iluminación natural, la acústica y el funcionamiento de una amplia gama de tipos de sistemas y componentes. Los modelos BIM corresponden a

[...] un conjunto de metodologías basadas en el uso compartido de modelos digitales que representan las características físicas y funcionales de los edificios y las obras de ingeniería, permitiendo el intercambio de información en la cadena de valor de la industria de construcción (Asociación Española de Normalización UNE, 2020).

El objetivo del BIM es reducir tiempo y recursos en el diseño, la construcción y la gestión del activo. A lo largo de los años, el modelado de información de construcción (BIM) ha experimentado un aumento significativo, tanto en términos de funciones como de uso. Esta herramienta puede gestionar casi por completo todo el proceso de diseño, construcción y gestión de un edificio de forma interna. Sin embargo, no es capaz de integrar completamente las funciones y especialmente la información necesaria para realizar un análisis energético complejo (Bonomolo et al., 2021).

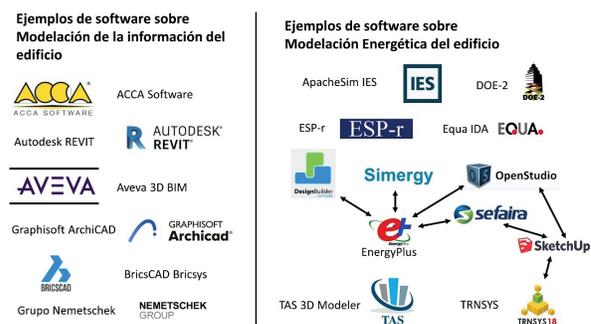
BPS es una tecnología que utiliza el modelo matemático de fenómenos físicos, con el cual se puede determinar de manera realista el desempeño del edificio en términos de demanda de energía, calidad del aire interior y confort térmico, parámetros relacionados con iluminación y acústica con esfuerzos y costos relativamente bajos. El objetivo de la simulación de desempeño de edificios es la cuantificación de aspectos que son relevantes para el diseño, construcción, operación y control de edificios (de Wilde, 2018). La simulación BPS sirve no sólo para revelar las interacciones entre el edificio y sus ocupantes, los sistemas HVAC y el clima exterior, sino también para hacer posibles opciones de diseño respetuosas con el medio ambiente (Hong et al., 2000). Aunque actualmente se dispone de una gran cantidad de herramientas BPS ([www.buildingenergysoftwaretools.com](http://www.buildingenergysoftwaretools.com)), existe una superposición significativa en la funcionalidad (Crawley, 2008), y aunque la mayoría de las herramientas aspiran a encapsular las interacciones entre las construcciones, los sistemas, el comportamiento del usuario y el clima de un edificio, no todas lo

logran de una manera completamente dinámica (Clarke y Hensen, 2015).

Dentro de las herramientas BPS destacan el modelamiento energético en edificios (BEM, Building Energy Modelling). Los modelos BEM son desarrollados a través de software de simulación basado en la física del uso de energía en edificios. Los planteamientos del desempeño energético del edificio a menudo están basados en modelos de transferencia de calor en estado transitorio, por lo cual también es referida como modelación dinámica de edificios (DBM, Dynamic Building Modelling) o simulación energética de edificios (BES, Building Energy Simulation). BEM es una herramienta versátil y multipropósito que se utiliza en el diseño de nuevos edificios, remodelaciones (rehabilitación energética), cumplimiento de códigos, certificación ecológica, calificación para créditos fiscales e incentivos de servicios públicos y control de edificios en tiempo real. BEM también se utiliza en análisis a gran escala para desarrollar códigos de eficiencia energética de edificios e informar decisiones políticas (U. S. Department of Energy, 2021a). La figura 1 muestra una lista de software BIM y BEM actualmente disponibles. Algunos programas como DesignBuilder, Simergy y Sefaira utilizan EnergyPlus como motor de cálculo. Por otra parte, SketchUp es un software de diseño gráfico y modelado en 3D que puede ser utilizado por TRNSYS y EnergyPlus, vía OpenStudio, para visualizar, configurar y editar la geometría del edificio en 3D.

FIGURA 1

Ejemplos de software disponibles BIM y BEM



Fuente: elaboración propia.

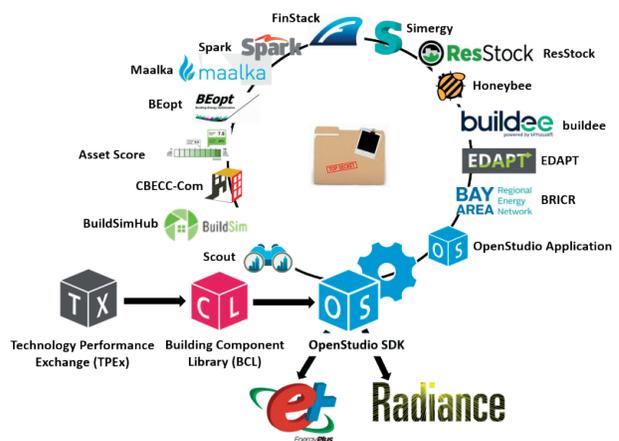
La conjunción entre BIM y BEM es una tendencia actual y existe un desarrollo de interoperabilidad entre los diversos software de ambas tecnologías (Lobos et al., 2014; Kamel y Memari, 2019). El método de utilizar el modelado de información de edificios para el proceso de modelado de energía de edificios, denominado modelado de energía de edificios basado en modelado de información de edificios, se ha convertido en un tema predominante y atractivo tanto en la investigación como en la sociedad industrial en los últimos años (Gao et al., 2019).

En las últimas décadas el consumo de energía a nivel mundial ha aumentado drásticamente, este crecimiento ha sido impulsado por el aumento de la población, el crecimiento de la economía y la mayor demanda de calidad de vida (U. S. Department of Energy, 2012). El uso de energía en edificaciones es una de las áreas con mayor potencial de los ahorros energéticos significativos, para ello es preciso que los edificios se diseñen, construyan y operen adecuadamente. La tecnología BEM es una herramienta efectiva para evaluar diversos diseños de edificaciones y arreglos en los materiales de construcción, comparar y seleccionar sistemas tales como los equipos de climatización artificial, asignar presupuestos anuales de energía; lograr el cumplimiento de los estándares energéticos; y optimización económica, durante el proceso de diseño del edificio (Al-Homoud, 2001).

En general, el software BPS se puede clasificar en tres tipos de aplicaciones: motores de simulación integrada (por ejemplo, EnergyPlus, ESP-r, TAS, IES-VE, IDA ICE), software que se acopla a un determinado motor (por ejemplo, DesignBuilder, eQuest, RIUSKA, Sefaira), y complementos que permiten ciertos análisis de rendimiento (por ejemplo, DIVA para Rhino, Honeybee, Autodesk Green Building Studio) (Østergård, 2016).

Uno de los software BEM de mayor uso es EnergyPlus. Este programa fue desarrollado por el Departamento de Energía de Estados Unidos y es de acceso abierto (<https://energyplus.net/>). La figura 2 muestra una serie de aplicaciones que se han desarrollado en torno al motor de cálculo EnergyPlus.

**FIGURA 2**  
Aplicaciones y servicios del sector público y privado en torno al programa EnergyPlus



Fuente: U. S. Department of Energy (2021a).

El objetivo de este artículo es revisar algunas de las aplicaciones del modelamiento energético de edificios que han sido reportadas en diversos artículos y publicaciones. Además, se exponen un par de casos de aplicaciones del BEM en México donde se describen de forma breve la metodología y los resultados obtenidos.

## APLICACIONES DEL MODELAMIENTO ENERGÉTICO DE EDIFICIOS

Los software de simulación se han convertido en una herramienta útil para evaluar el desempeño energético de edificios con diversos fines. Algunas aplicaciones que se pueden mencionar son en el diseño de edificios más eficientes en el consumo de energía, el cálculo de cargas térmicas para dimensionar equipos HVAC, el diagnóstico energético en edificios ya construidos, la calificación de rendimiento energético de códigos de energía y certificaciones ecológicas, el diseño de normas sobre consumo energético en edificios, así como en la investigación sobre la aplicaciones de nuevos materiales, diseños y sistemas que mejoren el rendimiento energético del edificio.

### ETAPA DE DISEÑO DE EDIFICIOS

Uno de los mayores potenciales de aplicación de la modelación energética de edificios corresponde a la etapa de diseño de un edificio. Este potencial es soportado por una tendencia global sobre regulaciones y certificación relacionadas a la eficiencia energética de edificaciones, incluyen los objetivos de edificios “net zero” (optimización entre reducción del consumo de energía y auto-generación de energía renovable) que se plantean en diversas regiones del planeta. Sin embargo, hoy en día incorporar BEM en las primeras etapas del diseño es muy difícil. Los tiempos de respuesta son cortos y los presupuestos ajustados, a veces inexistentes si una empresa de arquitectura está licitando un proyecto (U. S. Department of Energy, 2021b). Una revisión integral de los estudios de optimización del rendimiento del edificio en la etapa inicial de diseño ha sido realizada por Han et al. (2018) y por Gassar et al. (2021).

Existen una gran cantidad de publicaciones en revistas científicas especializadas sobre la aplicación de BEM en el diseño de edificios, aquí se mencionan un par de ejemplo. El primer caso corresponde una serie de simulaciones realizadas durante las primeras etapas del diseño de un edificio residencial multifamiliar (Samuelson et al., 2016). Los autores realizaron un análisis de sensibilidad simple para identificar los parámetros de diseño probados más influyentes en la intensidad del uso de energía, que incluían la relación ventana-pared, el tipo de vidrio, la rotación del edificio, la forma del edificio y el aislamiento en paredes, en ese orden. Para llevar a cabo las simulaciones y el análisis paramétrico de este estudio se utilizó EnergyPlus y Grasshopper como un servicio en la nube. En este análisis se incluyeron simulaciones considerando tanto el edificio residencial aislado, como si se ubicara en diversos contextos urbanos. En dichos contextos urbanos se consideraron condiciones climáticas de tres ciudades: Nueva York, Beijing y Shenzhen. Además, se varió la densidad y altura de edificios vecinos que influyen en el sombreado sobre el edificio residencial modelado. Dentro de los parámetros y rangos probados aquí, la relación ventana-pared surgió

como la consideración de diseño más importante. Por otra parte, en este trabajo se demuestra cómo el contexto urbano influye notablemente sobre el consumo anual de energía, por lo que dichos contextos afectan las decisiones de diseño del edificio (Samuelson et al., 2016).

Un segundo ejemplo de la aplicación del BEM corresponde a modelos de un edificio comercial y uno doméstico en el Reino Unido (Alwan et al., 2021). En este estudio se propone un método interactivo entre el análisis de ciclo de vida del edificio (ACVE) y el BEM para abordar los puntos críticos tanto de la energía operativa como la energía incorporada. La energía incorporada de un edificio es un cálculo que involucra energía utilizada para producir los materiales que componen el edificio, la cual es abordada mediante el ACVE. Por otro lado, la energía operativa corresponde a la energía requerida para operación del edificio como acondicionamiento de espacios, iluminación y operación de aparatos, etc. El edificio comercial es para oficinas y consiste en un marco de acero, vidriado y losas concreto-prefabricadas. Para estimar el uso de energía operativa se utilizó el software DesignBuilder, una interfaz gráfica que utiliza EnergyPlus como motor de cálculo. También se utilizó el software de modelado Grasshopper para llevar a cabo un análisis paramétrico que permite analizar el consumo de energía para una serie de opciones de diseño, incluyendo cambios en geometrías, materiales y sistemas constructivos. Como conclusión de este trabajo, los autores describen cómo el uso de energía operativa supera el uso de energía incorporada dentro de los primeros 10 años de vida de ambos edificios. También se menciona cómo los perfiles de energía para las cargas de ocupación, el consumo de energía y el guión se modifican de acuerdo con los requisitos de las ubicaciones geográficas específicas y las prioridades ambientales. Por ejemplo, las regiones cálidas y secas del mundo adaptarán un guión para centrarse más en el sombreado, mientras que una región templada se centrará en el uso de materiales y las opciones de calefacción (Alwan et al., 2021).

Ambos trabajos presentan enfoque novedoso de la aplicación BEM en las primeras etapas de diseño. Samuelson et al. (2016) incorporan un contexto urbano para evaluar el sombreado de edificios vecinos. Por otra parte, Alwan et al. (2021) incluyen el uso de energía incorporada en el análisis energético obtenido con las herramientas BEM.

#### *DISEÑO Y EVALUACIÓN DE NORMAS SOBRE CONSUMO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS*

La simulación energética de edificios ha sido utilizada para la inclusión de estándares relacionados al consumo de energía en edificaciones en diversas partes del mundo. Uno de los aspectos que más ha sido abordado se relaciona con estándares sobre techos reflectivos o cool roofs. Esencialmente, los techos reflectivos tienen una combinación con altos valores de reflectancia solar (RS) y emisividad infrarroja (EI) que permiten reducir el consumo de energía para el enfriamiento de edificaciones en lugares cálidos. Los techos reflectivos representan también una de las medidas propuestas para mitigar el problema de las islas de calor urbanas (Taha, 2008). La simulación energética permite construir un modelo de edificio y ubicar virtualmente dicho edificio en diversas localidades al utilizar los datos climáticos de dichas localidades. Esto permite realizar análisis rápidos y económicos evaluando las propiedades de los materiales o de los sistemas constructivos de interés, como pueden ser la reflectividad o resistencia térmica del techo.

En 1999 la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) acreditó por primera vez los techos fríos en edificios residenciales, no residenciales y de gran altura en la Norma ASHRAE 90.1-1999. En 2001, ASHRAE amplió sus estándares para acreditar techos fríos ahora en edificios residenciales de poca altura, implementando algunas revisiones tres años después en el estándar ASHRAE 90.2-2004 (Akbari y Levinson, 2008). En enero de 2001, el estado de California siguió el enfoque ASHRAE al acreditar en su estándar de eficiencia energética de, conocido como

“Título 24”, el uso de productos para techos reflectivos en edificios no residenciales con techos de poca pendiente (California Energy Commission, 2001). A partir de estas iniciativas pioneras sobre la implementación de techos reflectivos en edificios, se empezaron a implementar diversos tipos de estándares y acreditaciones de cool roofs en diversas partes del mundo.

En 1997 un comité para el estándar ASHRAE 90.1, que fue formado para reconocer el potencial de los techos reflectivos, determinó rangos de la reflectancia solar y emisividad infrarroja para algunos materiales comunes en techos (Akbari et al., 1998). La reflectancia solar de las tejas varió de 0.03 a 0.26, con la mayoría entre 0.10 y 0.15. Los techos de grava tenían reflectancias solares de aproximadamente 0.12 a 0.34, dependiendo del color de la grava. Las emisiones térmicas de estas superficies no metálicas fueron de aproximadamente 0.8 a 0.9. Los techos de metal desnudo y brillante tienen una mayor reflectancia solar (aproximadamente 0.60), pero su baja emisividad térmica (aproximadamente 0.10) los hace tan calientes como un techo oscuro bajo vientos de baja velocidad. Por lo tanto, se asumió que un techo “frío” de pendiente baja debería tener una reflectancia solar inicial no menor de 0.70, una reflectancia solar envejecida no menor de 0.55 y una emisividad térmica no menor de 0.80.

Varios estudios han evaluado el impacto de los techos reflectantes sobre el potencial de enfriamiento de edificios, vecindarios e incluso ciudades enteras con apoyo de BEM. Akbari et al. (1999) estimaron el efecto de los techos reflectivos en 11 ciudades de Estados Unidos utilizando el programa de simulación energética DOE-2. Estos autores estimaron ahorros anuales por el uso de altos valores de reflectancia solar en techos, que pueden llegar hasta 51 USD por cada 1,000 ft<sup>2</sup> (alrededor de 0.55 USD por m<sup>2</sup>) para edificios residenciales. Levinson y Akbari (2010) utilizaron el programa DOE-2 para estimar los beneficios potenciales de los techos reflectantes para edificios comerciales en 236 ciudades de Estados Unidos. Descubrieron que los ahorros de energía de refrigeración durante el verano compensan cualquier pena-

lización por energía de calefacción, excepto en los sitios remotos de Alaska, lo que resulta en ahorros netos de energía anual. Los ahorros de energía por área de techo variaron de \$0.126/m<sup>2</sup> en West Virginia a \$1.14/m<sup>2</sup> en Arizona, con un promedio de \$0.356/m<sup>2</sup> a nivel nacional según las ubicaciones estudiadas.

Simulaciones realizadas con EnergyPlus en prototipos de edificios residenciales y de oficinas en siete ciudades chinas (Harbin, Changchun, Beijing, Chongqing, Shanghai, Wuhan y Guanzhou) mostraron que la sustitución de un techo blanco envejecido (albedo 0.6) por un techo gris envejecido (albedo 0.2) produce ahorros anuales de energía de entre 4.1 y 10.2 kWh/m<sup>2</sup> y reducen emisiones de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> en rangos de 1.0-3.5 kg/m<sup>2</sup>, 5.1-13.2 g/m<sup>2</sup> y 9.4-32.6 g/m<sup>2</sup> respectivamente (Gao et al., 2014).

Recientemente, Tzempelikos y Lee (2021) utilizaron EnergyPlus para modelar tres tipos de edificios (comercios, oficinas y edificios escolares) en 16 ubicaciones representativas del clima en Estados Unidos. El objetivo fue evaluar el efecto combinado de la reflectividad y el aislamiento térmico del techo. La reflectividad solar se varió entre 6% (negro), 50% (techo reflectante envejecido) y 70% (techo reflectante nuevo), mientras que se consideraron tres niveles de aislamiento térmico con valores de resistencia térmica de 2, 4 y 6 m<sup>2</sup> °C/W. Los resultados muestran que todos los casos, los ahorros de energía con techos reflectantes (en comparación con los techos negros) son mayores para climas cálidos, aunque no necesariamente siguen el orden de subcategorías climáticas establecido en Estados Unidos. El aislamiento del techo es fundamental para todos los climas. Para oficinas y escuelas de poca altura, los beneficios de los techos reflectantes frente a los techos de colores oscuros son claros para todas las zonas climáticas de Estados Unidos. Por otro lado, para los edificios minoristas de grandes dimensiones, los techos reflectantes funcionan mejor, excepto en las zonas de clima frío (zonas climáticas 7 y 8).

Los trabajos antes expuestos han permitido evaluar los beneficios de los techos reflectivos.

Los resultados de estos trabajos han sido útiles para justificar o evaluar resultados de la implementación de normas que obligan, o bien sugieren, altos valores de reflectancia solar en techos de edificios que se ubican en diversas partes del mundo.

#### REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

Otro uso de BEM corresponde a la simulación de edificios construidos con el objetivo de incorporar adecuaciones para obtener un mejor desempeño energético. Estas adecuaciones, o rehabilitación energética, permiten disminuir el consumo de energía en rubros importantes como son la climatización artificial y la iluminación, obteniendo así ahorros económicos y reducciones en la emisión de gases con efecto invernadero. Simular un edificio ya construido nos permite monitorear algunos parámetros como la temperatura del aire interior o el consumo eléctrico para calibrar el modelo de simulación. De esta forma se puede realizar un proceso más completo de modelación energética del edificio que incluye etapas como análisis de sensibilidad, calibración, validación y optimización. Esto da como resultado modelos de simulación de edificios más realistas si se compara con la aplicación BEM en la etapa de diseño del edificio. Es indudable que en muchas regiones del mundo las condiciones de edificios para diversos usos pueden ser mejoradas con medidas pasivas simples como aislamiento térmico, techos reflectivos o sombreados en ventanas. Estas medidas simples pueden resultar económicamente factibles y es aquí donde la aplicación del BEM es fundamental.

Mazzocco et al. (2018) evaluaron propuestas de rehabilitación energética de una vivienda social en la región central de Argentina construida en 1960. Los muros exteriores de la vivienda son de ladrillo común de 0,30 m y el techo es una cubierta tradicional compuesta por losa de viguetas pretensadas de hormigón armado. La vivienda se modeló con Ecotect, un software propietario de la empresa Autodesk ahora incorporado a la plataforma Revit, y Simedif para Windows, desarrollado en el Instituto de Investigación en Energía

No Convencional de Argentina. Los modelos de simulación de ambos software fueron calibrados utilizando el consumo de energía monitoreado. Dentro de las propuestas de rehabilitación energética se incluyeron adicionar capas de poliestireno expandido en muros y techo, así como cambiar ventanas existentes por ventanas de doble vidrio hermético. A partir de la intervención energética, la energía incorporada se incrementa un 4.3 y 7.1% para alcanzar el nivel B y A de la Norma IRAM 11605, respectivamente. Sin embargo, la rehabilitación energética propuesta alcanza ahorros en la energía operativa para ambas intervenciones, del 53.7 y 85.6%, respectivamente.

Otro caso citado es un análisis sobre rehabilitación energética de edificios antiguos en la ciudad de Izmir, Turquía (Ulu y Arsan, 2020). Los autores investigaron un total de 22 edificios: cuatro edificios comerciales y 18 residenciales. En este estudio utilizaron el programa de simulación DesignBuilder v.5.2. Los 22 edificios fueron clasificados en tres grupos de acuerdo con el valor del patrimonio histórico y el registro como edificio histórico. El grupo 1 corresponde a edificios registrados oficialmente como históricos, el grupo 2 son edificios históricos no registrados como tales, y el grupo 3 corresponde a edificios no históricos. Para el proceso de rehabilitación se propusieron dos paquetes de soluciones de mejora al desempeño energético por cada grupo de edificios. En los seis paquetes se consideraron también el riesgo al patrimonio histórico de los edificios. Para los edificios de los grupos 1 y 2, el paquete 1 considera medidas sin ningún riesgo al patrimonio y el paquete 2 incorpora medidas de bajo riesgo al patrimonio. El aislamiento térmico en la parte exterior del muro, así como el cambio de ventanas y puertas son medidas que mejoran considerablemente el desempeño energético, pero fueron eliminadas por su impacto al patrimonio en los grupos 1 y 2. En el grupo 3 los cambios se dividieron en el paquete 1, que incluye componentes verticales como aislamiento en muros y sustitución de ventanas, y el paquete 2, con modificaciones en componentes horizontales como aislamiento en techo y pisos. Los resulta-

dos de este trabajo detallan los consumos obtenidos por grupo de edificios y para cada escenario: el caso base, o estado actual del edificio, y para los dos paquetes de mejoras al desempeño térmico. Para los edificios oficialmente registrados como históricos (grupo 1) se reporta un rango de ahorro en el consumo de energía de entre 14.04 kWh/m<sup>2</sup> y 118.2 kWh/m<sup>2</sup> para el paquete 1 y entre 56.33 kWh/m<sup>2</sup> y 186.35 kWh/m<sup>2</sup> para el paquete 2. Los rangos del ahorro energético reportados para el grupo 2 son similares a los del grupo 1. Para el grupo 3 se obtuvieron ahorros de 33.76 kWh/m<sup>2</sup> a 217.38 kWh/m<sup>2</sup> y de 57.39 kWh/m<sup>2</sup> a 221.25 kWh/m<sup>2</sup>. Considerando el total de los edificios analizados, el consumo anual de energía fue de 506,924 kWh y se obtuvieron ahorros de energía del 19.8 y 48.57% para los paquetes 1 y 2, respectivamente.

#### *EVALUACIÓN DE NUEVOS MATERIALES Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS*

La simulación energética de edificios es una herramienta útil en la investigación enfocada en el desarrollo de nuevos materiales y sistemas constructivos que buscan mejorar el desempeño energético de los edificios. Un ejemplo es aplicación de la simulación energética de edificaciones para evaluar la tecnología de materiales con cambios de fase en componentes de la envolvente de edificios (Devaux y Farid, 2017; Royon et al., 2013; Jeong et al., 2021). Durante el proceso de transferencia de calor que ocurre a través de los componentes de la envolvente como el piso, el techo y los muros, parte de la energía es almacenada en estos componentes. La energía se puede almacenar principalmente de dos formas: calor sensible y calor latente. Un material convencional almacena la energía como calor sensible, es decir a través del cambio de temperatura. La densidad y el calor específico de los materiales son las propiedades que se relacionan con almacenamiento de calor sensible, aunque también se utiliza el término de masa térmica en el diseño de edificios. La masa térmica corresponde a la capacidad calorífica, que equivale al producto de la densidad por el calor específico. Por otra parte, se puede aprovechar materiales que tienen un

cambio de fase, generalmente de líquido a sólido y viceversa, para que ocurra un almacenamiento de energía en forma de calor latente. El uso de materiales con cambio de fases (MCF) en las condiciones que ocurre la transferencia de calor a través de la envolvente es más efectivo cuando se tiene materiales de construcción livianos (Chiu y Martin, 2013). El uso de MCF en la envolvente tiene dos ventajas principales: aporta un nivel de temperatura más constante dentro de un edificio y permite que la aplicación de MCF sea independiente del sistema de calefacción y refrigeración empleado (Soares et al., 2013). Algunos programas de BEM como EnergyPlus y TRNSYS han incorporado módulos para cálculos con la tecnología de MCF en edificaciones (Tabares-Velasco et al., 2012; Kuznik et al., 2010). Un ejemplo de la aplicación de EnergyPlus para evaluar la incorporación de MCF es presentado por Devaux y Farid (2017). Estos autores evaluaron un par de casetas de oficinas construidas con paneles de yeso acondicionadas con un sistema de calefacción por piso radiante. Las casetas tienen una superficie construida de casi 7 m<sup>2</sup> cada una y son ubicadas en el campus de Tamaki de la Universidad de Auckland (Nueva Zelanda). En una de las casetas se adicionaron paneles con MCF en paredes, piso y techo. Ambas casetas fueron monitoreadas por 10 días. Los consumos de energía medidos en la cabaña y los previstos por EnergyPlus resultaron con una muy buena concordancia, con una diferencia promedio de sólo 1.5% durante siete días; Sin embargo, EnergyPlus en algunos días sobreestimó el consumo, y en otros lo subestimó. El uso de MCF permitió reducir la carga máxima de calefacción de manera significativa y obtener ahorros en el consumo de energía del 32%. Los costos para la calefacción se redujeron en un 42% debido tanto al ahorro en el consumo de energía como por el cambio de la carga máxima.

## CASOS DE APLICACIÓN

Para ilustrar dos diferentes tipos de aplicaciones de la modelación energética de edificaciones, se

describen dos casos de estudio. El primer caso consiste en evaluar el efecto de la reflectancia solar, emisividad infrarroja y aislamiento térmico en techos sobre el uso de energía. Para este caso se utilizó el programa TRNSYS para simular una vivienda familiar bajo condiciones climáticas de 20 ciudades de México. El segundo caso consiste en la calibración de un modelo energético desarrollado con Openstudio y EnergyPlus para simular un edificio académico. En este caso se monitorearon temperaturas del aire interior y superficies de paredes para compararlas con las temperaturas obtenidas con la simulación energética de este edificio.

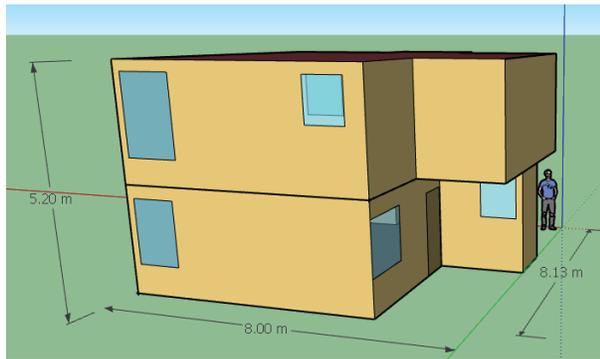
### *EFECTO DE LA REFLECTANCIA SOLAR Y EMISIVIDAD INFRARROJA DEL TECHO SOBRE EL USO DE ENERGÍA EN MÉXICO*

Este análisis se basa en un trabajo de tesis doctoral (Lucero, 2016) donde se consideraron, además del edificio residencial aquí discutido, un modelo de vivienda de interés social y un edificio no residencial. Algunos resultados sobre la simulación de la vivienda social han sido previamente publicados (Lucero-Álvarez et al., 2014; Lucero-Álvarez et al., 2016; Lucero-Álvarez y Martín-Domínguez, 2016, 2019).

El modelo del edificio residencial es una vivienda de dos niveles, con una superficie total de construcción aproximadamente de 100 m<sup>2</sup> (figura 3). Este modelo corresponde al edificio de referencia utilizado para el diseño de la Norma Mexicana NOM-020-ENER-2011 y la información fue obtenida de un reporte preparado para Comisión Nacional de Uso Eficiente de Energía (CONUEE) (Álvarez et al., 2014). Las características del edificio, incluyendo materiales de construcción y horarios de operación se basan en trabajos previos (Álvarez et al., 2014, y Halverson et al., 1994, en Álvarez et al., 2014).

**FIGURA 3**

Modelo de edificio residencial simulado con TRNSYS



Fuente: elaboración propia.

Para evaluar el efecto de la RS y EI se utilizó el software TRNSYS y se realizó un análisis paramétrico donde se variaron ambas propiedades termo-ópticas en un rango de 0.1 a 0.9 con incrementos de 0.1. Adicionalmente se consideraron tres escenarios con aislamiento térmico (sin aislamiento térmico, 2.5 cm y 5.0 cm de aislamiento). Las simulaciones se realizaron con condiciones climáticas de 20 ciudades que son representativas de las diferentes zonas térmicas que define la Norma Mexicana NMX-C460-ONNCCE-2009 (tabla 1). La ocupación es de cuatro personas, y el horario de operación es de lunes a viernes entre las 0:00 a 8:00 horas y 15:00 a 24:00 horas, e incluye las 24 horas del sábado y domingo. Se consideraron ganancias por equipo eléctrico, iluminación y ocupación de personas. Los sistemas constructivos incluyen paredes en base a bloque hueco de concreto con acabados de yeso, en la superficie interior, y de mortero en la exterior. El techo consiste en una losa de concreto con acabado de yeso e impermeabilizante elastomérico. Para el piso se considera una losa de concreto con cerámica. Otros parámetros para la simulación, incluyendo las propiedades físicas de los materiales de construcción, son detallados en Lucero (2016).

**TABLA 1**

Ciudades consideradas para realizar la simulación térmica, y que representan las diferentes zonas térmicas de México

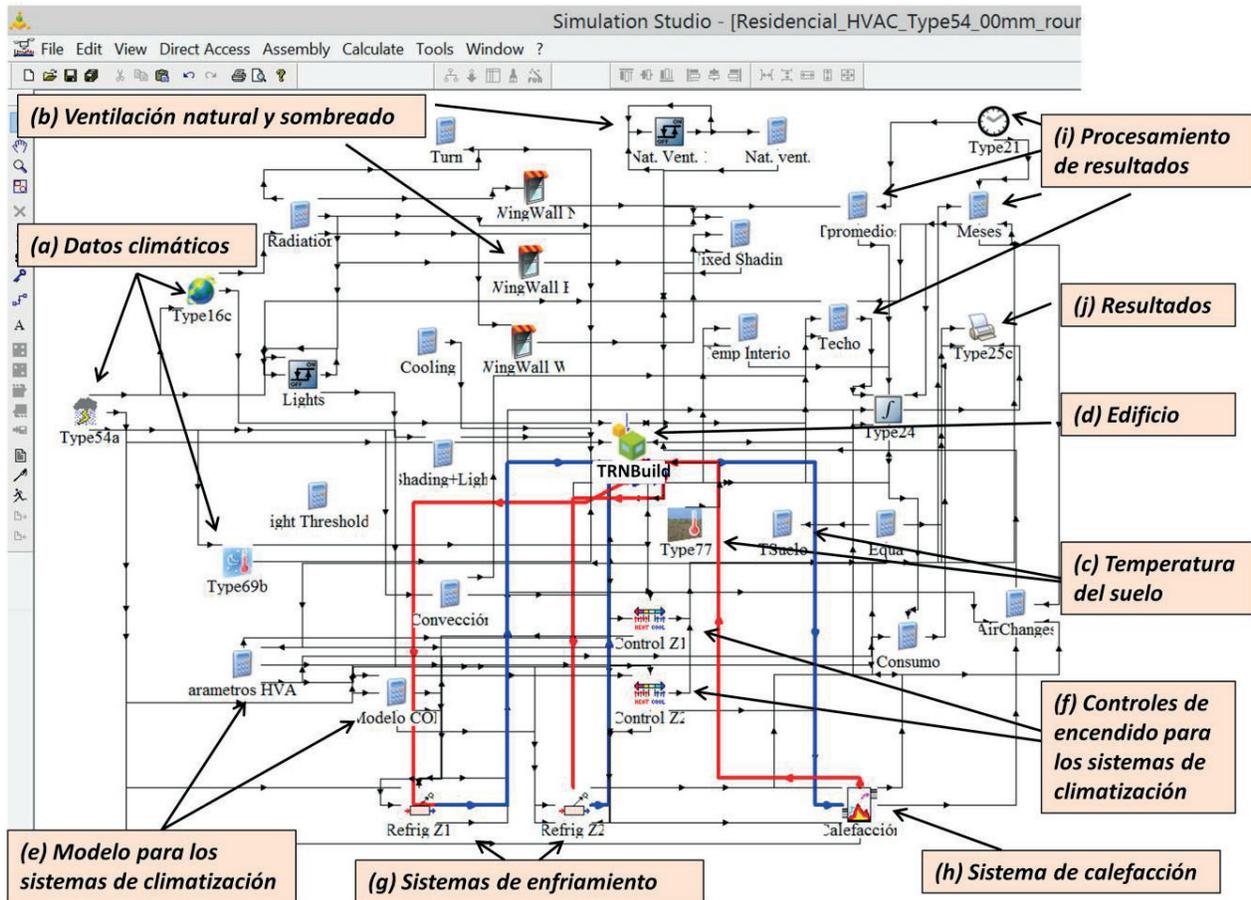
<b>Zona 1</b>
1. Acapulco
2. Campeche
3. Culiacán
4. Veracruz
<b>Zona 2</b>
5. Cuernavaca
6. Guadalajara
7. Hermosillo
8. Monterrey
<b>Zona 3A</b>
9. México DF
10. Morelia
11. Puebla
12. Querétaro
<b>Zona 3 (B y C)</b>
13. Chihuahua (3B)
14. Saltillo (3B)
15. San Luis Potosí (3B)
16. Orizaba (3C)
<b>Zona 4</b>
17. Tlaxcala (4A)
18. Toluca (4A)
19. Pachuca (4B)
20. Zacatecas (4C)

Fuente: Lucero, 2016.

El TRNSYS es un entorno de software basado en gráficos para la simulación de sistemas en estado transitorio. Aunque este paquete está enfocado en la evaluación del rendimiento de sistemas de energía térmica y eléctrica, permite una gran flexibilidad para la simulación de otros tipos de sistemas. TRNSYS puede ser dividido en dos partes: una biblioteca de componentes que evalúan las diversas partes del sistema, y un motor (o kernel) que lee la información proporcionada en cada componente y resuelve iterativamente el sistema (TRNSYS, 2021).

La figura 4 muestra la interfaz principal de TRNSYS denominada Simulation Studio, con el sistema desarrollado para la simulación energética del edificio residencial. En la figura 4 se indican los objetivos de algunos componentes, cada componente es enlazado a otros componentes de forma tal que las variables de salida de un com-

**FIGURA 4**  
Interfaz gráfica Simulation Studio de TRNSYS, mostrando los módulos y enlaces utilizados para el modelo del edificio residencial



Fuente: Lucero, 2016.

ponente corresponden a las variables de entrada de otros componentes.

Además del sistema para simular el uso de energía, también se utilizaron otras variantes para evaluar el confort y las cargas térmicas. El sistema para evaluar el confort térmico no utiliza sistemas de enfriamiento y calefacción, por lo que la temperatura fluctúa de forma libre según las condiciones climáticas y los flujos de calor que se establezcan a través de la envolvente del edificio. El confort térmico puede ser evaluado a través de dos parámetros: la predicción del voto promedio (PMV, por sus siglas en inglés) y la predicción del porcentaje de incomodidad, o no confort (PPD, por sus siglas en inglés) basados en el modelo de Fanger (Bojórquez-Morales

et al., 2011). En el modelo de cargas térmicas se determina un rango de temperaturas a mantener dentro de la vivienda. La carga térmica corresponde a la energía que se necesita para conseguir que las condiciones de temperatura y humedad se mantengan en una zona de confort térmico. En el modelo de TRNSYS para determinar cargas térmicas, se fijan la fluctuación de temperatura del aire interior del edificio, por ejemplo entre 20° C y 25° C, y mediante el balance de energía se determinan las cargas térmicas de calefacción y enfriamiento.

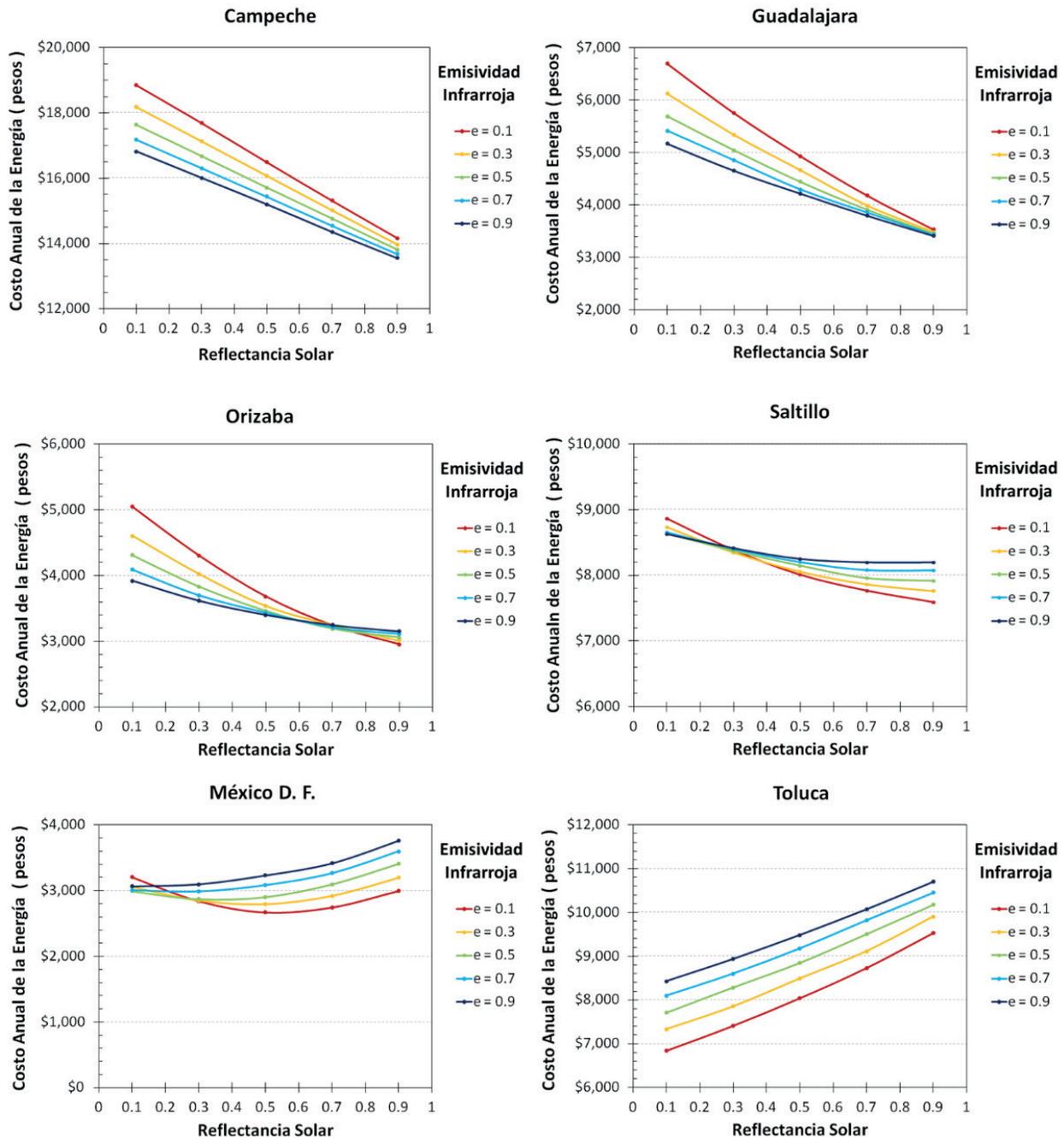
Dado que los sistemas de climatización considerados requieren diferentes recursos energéticos, durante el verano se consume electricidad y durante el invierno se requieren tanto energía

eléctrica como gas natural, se utilizó el costo de total de la energía durante todo el año para optimizar los valores de RS, EI y aislamiento térmico. El costo anual de la energía (CAE) fue calculado con un precio de electricidad de 127 c\$/kWh

correspondiente al precio medio del sector doméstico para el primer semestre de 2014, y con el precio medio de gas natural del 2014, que fue de 181.56 pesos/GJ.

**FIGURA 5**  
Patrones de la variación del costo de la energía en función de la RS y EI

### Edificio Residencial



Fuente: Lucero, 2016.

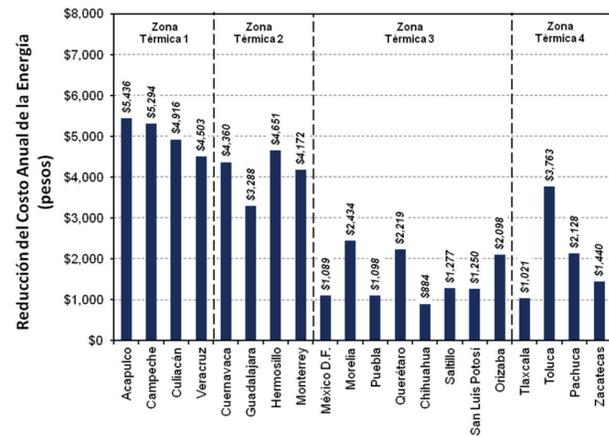
Las gráficas de la figura 5 muestran casos representativos de los diferentes patrones de la variación del costo de la energía al cambiar los valores de la RS y EI del techo sin aislamiento térmico. Las ciudades cuyos requerimientos de energía para climatización artificial son dominados por las necesidades de enfriamiento (zonas térmicas 1 y 2), resultaron con las mayores diferencias del costo de la energía, en estas ciudades se requieren altos valores de RS, para disminuir la ganancia de calor por absorción de la radiación solar, y altos valores de EI, para incrementar la pérdida de calor por interacción de la radiación infrarroja con la atmósfera, como se puede observar en los casos de Campeche y Guadalajara. En las ciudades de estas dos zonas térmicas se tiene una relación lineal de la RS sobre el costo anual de la energía para cada isovalor de EI, observándose que el mayor efecto de la EI se da cuando  $RS = 0.1$  y decrece al aumentar la RS. Conforme se incrementan las necesidades de calefacción en las ciudades de las zonas térmicas 3 y 4, se presenta una curvatura y un punto de convergencia en los isovalores de EI, resultando combinaciones óptimas que incluyen bajos valores de EI y diversos valores de RS.

En las gráficas de la figura 5 pueden observarse diversos grados de reducción del CAE entre la combinación de RS-EI con mayor consumo, y la combinación RS-EI con menor consumo. Por ejemplo, para el caso de Campeche la combinación  $RS = 0.1$  y  $EI = 0.1$  representa un costo de \$18,923 mientras que una combinación óptima de  $RS = 0.9$  y  $EI = 0.9$  el costo es de \$13,629. Las reducciones del CAE entre la peor y la mejor combinación de RS y EI se muestran en la figura 6. En dicha figura se observa que la mayor reducción del CAE, y por tanto el mayor efecto de la RS y EI sobre el consumo de energía, corresponden a las ciudades ubicadas en las zonas térmicas 1 y 2. Estas ciudades se caracterizan por presentar un consumo de energía destinado casi en su totalidad al enfriamiento del edificio. Para las ciudades de las zonas térmicas 1 y 2 se requieren altos valores de RS

para disminuir la ganancia de calor por absorción de la radiación solar, y altos valores de EI para incrementar la pérdida de calor por interacción de la radiación infrarroja con la atmósfera. Una reducción importante corresponde a la ciudad de Toluca (zona térmica 4), cuya combinación óptima de RS y EI es opuesta a las combinaciones adecuadas de las zonas térmicas 1 y 2.

FIGURA 6

Reducción del CAE para el edificio residencial

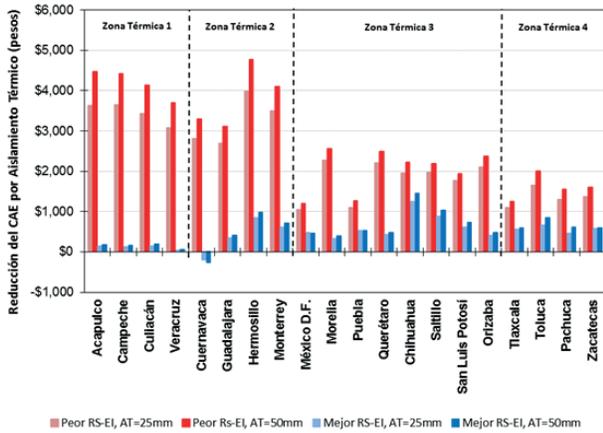


Fuente: Lucero, 2016.

El efecto del aislamiento térmico está en función de la efectividad que presente la combinación de RS y EI (véase figura 7). El efecto del aislamiento térmico puede ser muy variado para ciudades en las zonas térmicas 1 y 2, en estos casos la reducción del CAE puede ser superior a los \$3,000 si el techo presenta la peor combinación de RS y EI (0.1 para ambas propiedades). El ahorro en el consumo de energía debido al uso de aislamiento térmico disminuye notablemente si se cuenta con un techo reflectivo en ciudades de climas cálidos. Si consideramos que se cuenta con una combinación óptima de RS-EI (barras azules en la figura 7), entonces los mayores efectos del aislamiento térmico corresponden a ciudades que tienen requerimientos energéticos para calefacción (zonas térmicas 3 y 4).

**FIGURA 7**

Reducción del costo de energía al utilizar aislamiento térmico en techo, considerando valores óptimos de RS y EI en edificio residencial

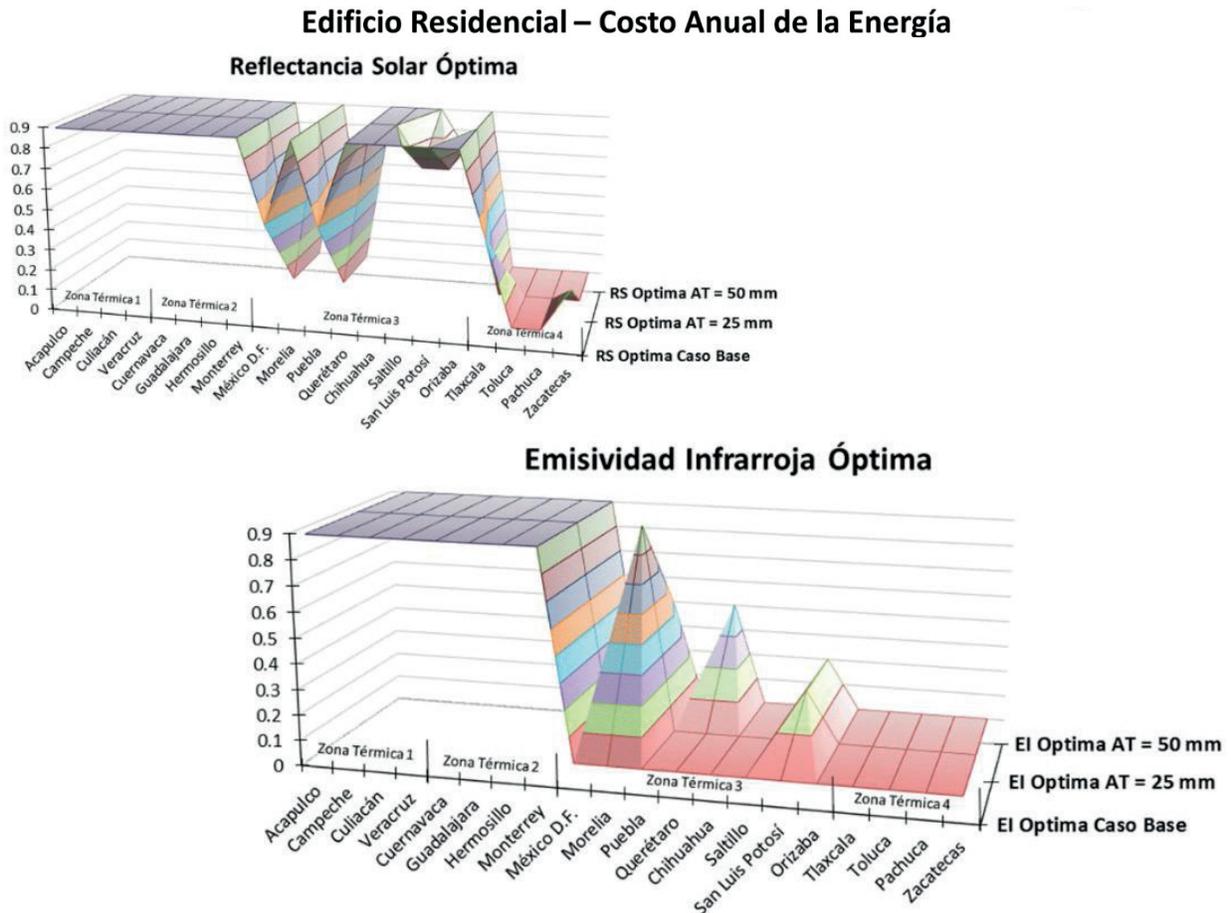


Fuente: Lucero, 2016.

Las combinaciones de RS-EI que resultan óptimas en los tres escenarios de aislamiento térmico se muestran en la figura 8. Se pueden generalizar valores de RS y EI para los impermeabilizante comunes en México como asfálticos negros (0.1), acrílicos rojos (0.3) y acrílicos blancos (0.7), todo ellos con valores altos de emisividad infrarroja (0.9), por los que se tendrían menores reducciones del CAE para un contexto más real que las presentadas en las figuras 6 y 7. Debido a que la diferencia en el costo entre los tres tipos de impermeabilizantes comunes en México es mucho menor que la inversión que se requiere para la instalación de aislamiento térmico, es importante considerar la mejor combinación posible de RS y EI del techo para estimar los ahorros por la aplicación de aislamiento térmico. Un ejemplo

**FIGURA 8**

Combinaciones óptimas de RS y EI para el caso base y los dos niveles de aislamiento térmico en el edificio residencial



Fuente: Lucero, 2016.

de un análisis de costo-beneficio por el uso de aislamiento térmico con este enfoque, se muestra en Lucero et al. (2016).

#### CALIBRACIÓN DE UN MODELO ENERGÉTICO DE UN EDIFICIO ACADÉMICO

Una aplicación importante de la simulación energética de edificios corresponde a la rehabilitación energética. En este escenario se simula un edificio ya construido de tal forma que pueden ser evaluadas diferentes medidas para reducir el consumo de energía para climatización e iluminación. Al simular un edificio ya construido permite monitorear algunos parámetros como la temperatura y humedad del aire interior, el consumo eléctrico o de cualquier combustible que utilice el edificio, temperaturas y flujos de calor en las superficies de paredes, piso y techos, entre otras. La medición experimental de estas variables resulta clave para calibrar los modelos de simulación, y de esta forma tener resultados más apegados a la realidad. Una vez obtenido el modelo de simulación calibrado, es posible explorar diversas tecnologías pasivas o activas para mejorar el desempeño energético del edificio.

Para mostrar este tipo de aplicación se seleccionó un edificio académico de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua. La Facultad se ubica en el extremo suroeste de la ciudad de Chihuahua. El edificio es destinado a aulas y laboratorios de cómputo, consta de dos niveles donde se definieron 28 espacios o zonas térmicas, 14 por nivel (véanse tabla 2 y figura 9). El área total del edificio es de 1,027.12 m<sup>2</sup> y el volumen total considerando las 28 zonas térmicas definidas es de 2,875.94 m<sup>3</sup>.

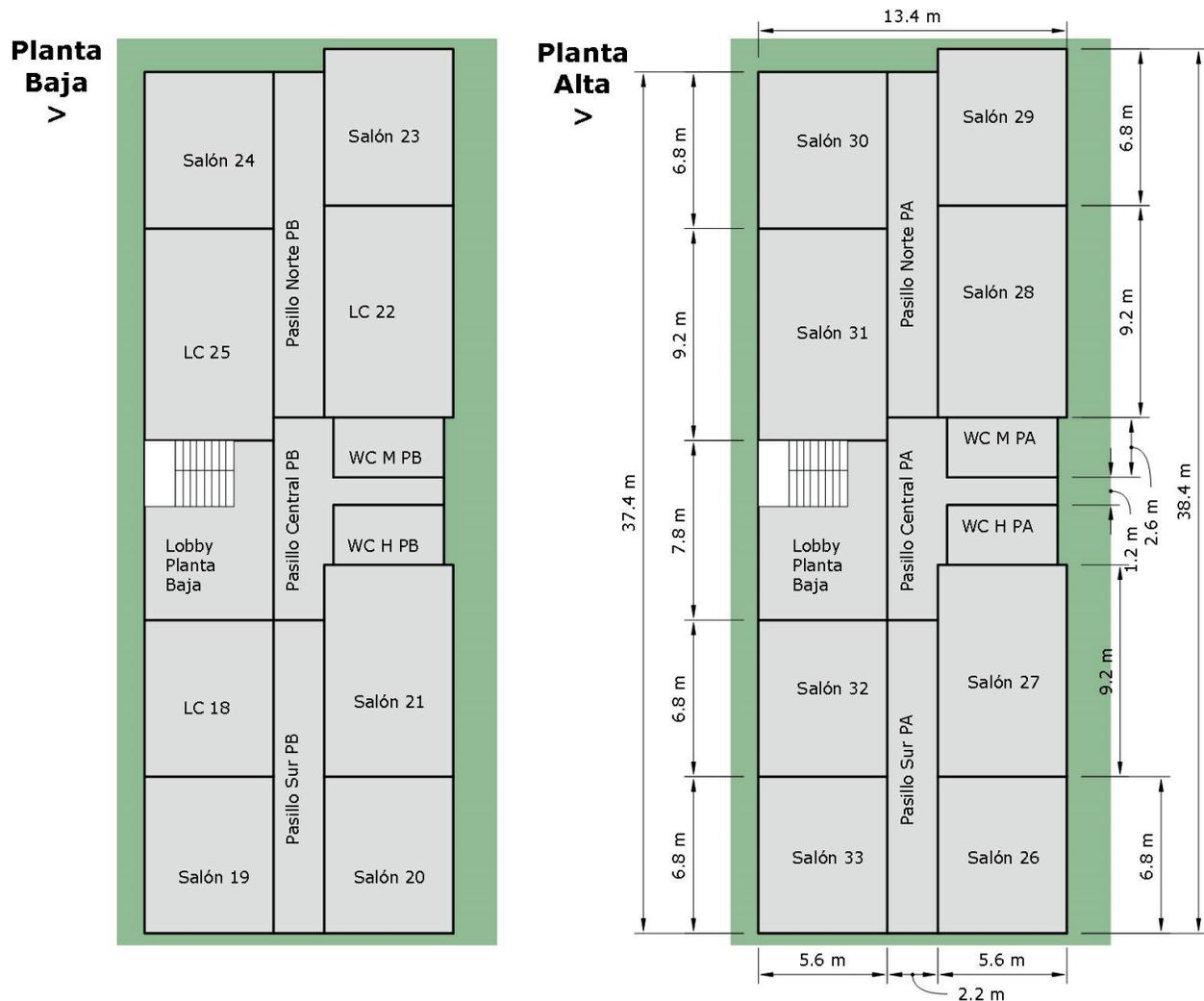
**TABLA 2**  
Área y volumen de los espacios del edificio

Espacio_Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Espacio	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	
LC 18	38.08	106.62	Salón 23	38.08	106.62
LC 22	51.52	144.26	Salón 24	38.08	106.62
LC 25	51.52	144.26	Salón 26	38.08	106.62
Lobby PA	43.68	122.3	Salón 27	51.52	144.26
Lobby PB	43.68	122.3	Salón 28	51.52	144.26
Pasillo C PA	27.68	77.5	Salón 29	38.08	106.62
Pasillo C PB	27.68	77.5	Salón 30	38.08	106.62
Pasillo N PA	33	92.4	Salón 31	51.52	144.26
Pasillo N PB	33	92.4	Salón 32	38.08	106.62
Pasillo S PA	35.2	98.56	Salón 33	51.52	144.26
Pasillo S PB	29.92	83.78	wc h pa	12.48	34.94
Salón 19	38.08	106.62	wc h pb	12.48	34.94
Salón 20	38.08	106.62	wc m pa	12.48	34.94
Salón 21	51.52	144.26	wc m pb	12.48	34.94

Fuente: elaboración propia.

Los sistemas constructivos del edificio y las propiedades térmicas de los materiales de construcción están enlistados en las tablas 3 y 4. En el caso de los sistemas constructivos de la tabla 3, se enlistan de la superficie exterior a la superficie interior. Puede notarse que para los casos de piso y techo interiores, la lista de materiales es la misma, sólo que esta invertida, ésta es una convención que sigue Openstudio para llevar a cabo las simulaciones de forma correcta.

**FIGURA 9**  
Plantas de los dos niveles del edificio académico analizado



Fuente: elaboración propia.

**TABLA 3**  
Sistemas constructivos del edificio académico analizado

Muro exterior	Techo	Piso
Pintura acrílica	Impermeabilizante	Losa de concreto 17 cm
Enjarre	Aislamiento 2.5 cm	Pega-azulejo
Block de concreto 20 cm	Losa de concreto 7 cm	Cerámica
Yeso	Caseto EPS	
Pintura acrílica		
Muro interior	Piso interior	Techo interior
Pintura acrílica	Cerámica	Losa aligerada-plenum
Yeso	Pega-azulejo	Pega-azulejo
Block de concreto 12 cm	Losa aligerada	Cerámica
Yeso		
Pintura acrílica		

Muro exterior	Techo	Piso
Ventanas-puertas exteriores	Vigueta de concreto	
Vidrio de 6 mm	Impermeabilizante*	
	Losa de concreto 17 cm	

Sistemas constructivos\_

**TABLA 4**  
Propiedades térmicas de los materiales opacos

Espesor	Cond. térmica	Calor específico	Densidad		
Material	$E_m$	$\lambda$ [W/m·K]	$C_p$ [J/kg·K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Referencias
Enjarre	0.03	0.8722	840	1,860	Lucero, 2011
Block 15 cm (no usado)	0.15	0.877	930	1,050	Pérez et al., 2011
Block 12 cm	0.12	0.755	920	1,210	Pérez et al., 2011
Block 20 cm	0.20	1.07	940	900	Fogiatto et al., 2016
Losa de concreto 17 cm	0.17	1.74	840	2,300	Lucero, 2011
Losa de concreto 7 cm	0.07	1.74	840	2,300	Lucero, 2011
Casetón EPS	0.1	0.02885	1,210	35	Martínez et al., 2010
Pintura acrílica	0.002	0.17	800	1,127	Lucero, 2016
Yeso	0.013	0.16	830	785	Calixto et al., 2021
Cerámica	0.01	1.0469	800	2,500	Lucero, 2016
Aislamiento 2.5 cm	0.025	0.04	1,400	10	Lucero, 2016
Pega-azulejo	0.01	1.3	1,000	1,900	Lucero, 2016
Losa aligerada-plenum	0.3	1.128	1,000	1,090	Lucero, 2016

La medición de temperaturas se llevó a cabo en los salones 26, 32 y 24 (véase figura 9). El monitoreo de temperaturas del aire interior se llevó a cabo con dos termohigrómetros de marca Hioki modelo LR5001. Para determinar las temperaturas de las paredes se utilizó un adquisidor de datos de la marca Hioki modelo LR8432-20 con 10 canales; como sensores de temperatura se utilizaron termopares tipo K. La figura 10 muestra los equipos utilizados y ejemplos de la instalación de estos equipos en el edificio analizado.

Se realizaron tres conjuntos de mediciones de un periodo de siete días para cada conjunto. Cada conjunto de medición se llevó a cabo en cada uno de los tres salones considerados. El intervalo

de medición fue de 15 minutos. Los datos de las mediciones se almacenaron en una base de datos SQLite.

Para llevar a cabo las simulaciones térmicas se utilizó la versión 1.1.0 de OpenStudio Application que trabaja con el núcleo de OpenStudio SDK versión 3.1.0 y EnergyPlus versión 9.4.0 como motor de simulación. OpenStudio Application permite tener una interfaz gráfica de usuario donde se pueden visualizar e introducir todos los datos de entrada del modelo, así como parte de los resultados. Para construir el modelo de simulación en OpenStudio Application se utilizan 15 pasos que están relacionados con las 15 pestañas que aparecen en la barra ubicada en el extremo izquierdo de la interfaz gráfica principal (figura 11).

**FIGURA 10**

Instrumentos utilizados para el monitoreo experimental: (a) termohigrómetro Hioki modelo LR5001 para medir temperatura y humedad relativa del aire interior montado en trípode; (b) adquisidor de datos Hioki modelo LR8432-20 con sensores de flujo de calor y termopares tipo K instalados en pared del edificio monitoreado



Fuente: elaboración propia.

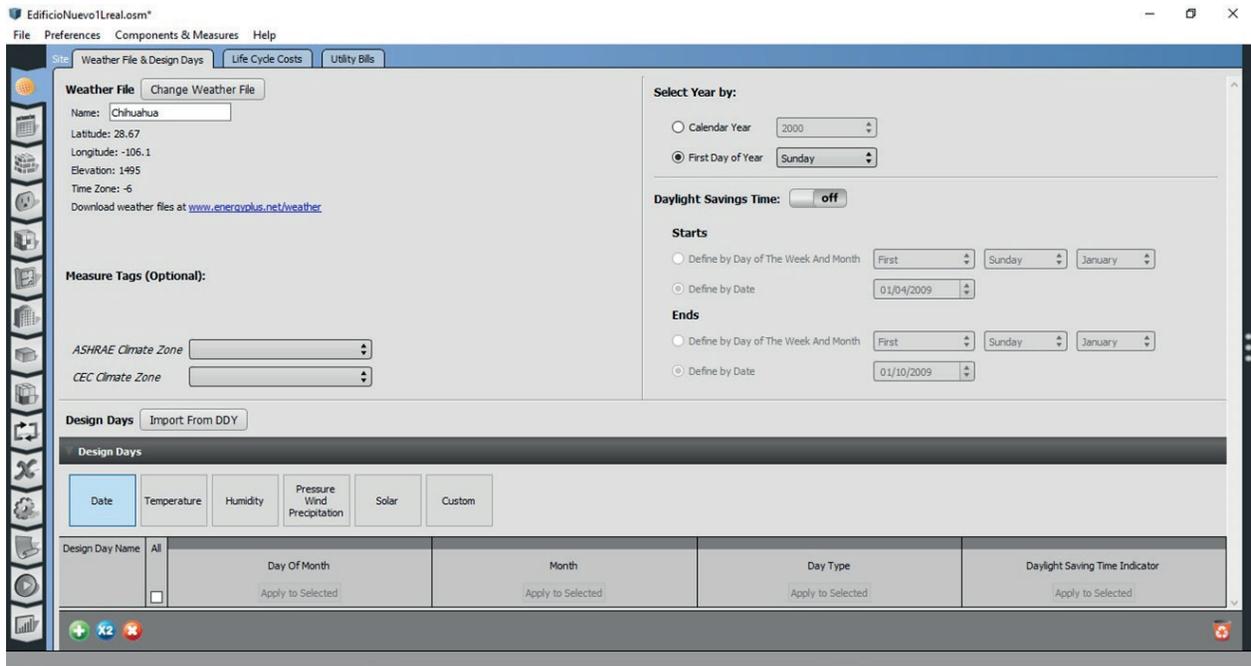
Cada pestaña despliega una interfaz diferente, la primera pestaña se relaciona con los datos climáticos y su interfaz es la que se muestra en la figura 11. En esta interfaz se selecciona un archivo de datos meteorológicos con la extensión EPW (EnergyPlus Weather Format). En cada una de las siguientes 11 pestañas se introduce información o se seleccionan opciones de acuerdo con el nombre de pestaña que aparece en la figura 11.

Las últimas dos pestañas corresponden al módulo donde se corren las simulaciones y al módulo donde se presentan los resultados.

Los archivos EPW se pueden preparar a partir de un año típico (que son representativos del clima a largo plazo, compilados a partir de datos de 20 a 30 años). Existen fuentes de acceso abierto como los sitios web “Weather Data” de EnergyPlus (<https://energyplus.net/weather>) y “Cli-

FIGURA 11

Ventana de inicio de la interfaz de usuario de OpenStudio Application; en la parte de abajo se enumeran las pestañas de la barra de herramientas ubicada en el extremo izquierdo de la interfaz de usuario



- |   |   |  |
|---|---|--|
|  1. Datos Climáticos<br> 2. Horarios<br> 3. Sistemas Constructivos<br> 4. Cargas Térmicas<br> 5. Tipos de Espacios |  6. Geometría<br> 7. Instalaciones<br> 8. Espacios<br> 9. Zonas Térmicas<br> 10. Sistemas HVAC |  11. Variables de Salida<br> 12. Ajustes de la Simulación<br> 13. Mediciones<br> 14. Simulaciones<br> 15. Resultados |
|---|---|--|

Fuente: elaboración propia.

mate” de la organización OneBuilding (<http://climate.onebuilding.org/default.html>). También existen software de licencia como Meteonorm que pueden generar este tipo de archivos climáticos para cualquier localidad basándose en datos de más de 8,000 estaciones meteorológicas y cinco satélites geoestacionarios (<https://meteonorm.com/en/>). Para este estudio se utilizó el archivo Chihuahua-hour.epw descargado del sitio web de OneBuilding Org. Para llevar los modelos de validación fue necesario modificar el archivo Chihuahua-hour.epw para incluir los datos climáticos del periodo en el que realizaron

las mediciones de temperatura en el edificio. Los datos climáticos fueron obtenidos la estación meteorológica “Potabilizadora Chihuahua”, que es la más cercana al edificio académico. Esta estación meteorológica se ubica aproximadamente a 4 km al NNE del edificio analizado.

Los monitoreos se llevaron a cabo entre el 27 de julio al 21 de agosto. De acuerdo con los datos climáticos obtenidos de la estación “Potabilizadora Chihuahua”, la temperatura del aire fluctuó entre los 17.4 hasta los 32.6° C (figura 12). La radiación solar y la difusa alcanzaron máximos que superaron los 800 W/m<sup>2</sup> y 400 W/m<sup>2</sup>, res-

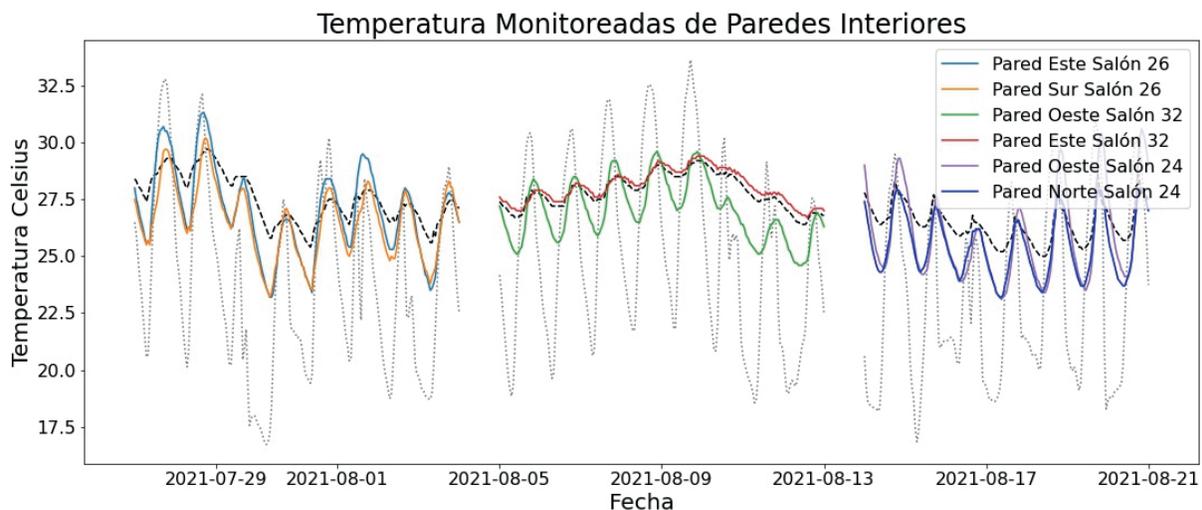
pectivamente. La temperatura del aire interior se mantuvo en un rango entre los 25° C y los 29.7° C, como se puede observar en la figura 12. El valor mínimo (25° C) se presentó en el salón 24 el 19 de agosto, mientras que el valor máximo (30° C) ocurrió el 29 de julio en el salón 26. En esta figura 12 se presentan también las temperaturas de superficies interiores de los salones monitoreados.

Para calibrar el modelo de simulación se inició con una versión base donde se simplificaron algunos sistemas constructivos. A partir de este modelo se fueron agregando diversos elementos y parámetros como ventanas, datos de infiltración y masa térmica interna, así como elementos de sombreados. Las versiones del modelo de simulación se nombraron como EdificioNuevo1 más una letra mayúscula que identifica cada corrida. En total se construyeron nueve versiones de modelo de simulación para la validación (D,

E, F, G, Ga, H, Ha, K y L). En el modelo K se llevó a cabo un análisis paramétrico donde se realizaron nueve corridas, identificadas con una letra minúscula adicional, variando la infiltración y masa térmica interna. Los valores de infiltración fueron de 0.5, 1 y 2 renovaciones de aire por hora, mientras que para la masa térmica interna (efecto de inercia térmica por mobiliario y paredes internas) se utilizaron los valores de 20, 60 y 120 kJ/m<sup>2</sup>. El modelo EdificioNuevo1L, con infiltración de una renovación de aire por hora y masa térmica interna de 120 kJ/m<sup>2</sup>, presentó el mejor ajuste de las temperaturas simuladas respecto a las temperaturas monitoreadas (figura 13). En cada uno de los modelos se compararon las temperaturas de superficies internas de paredes y del aire interior de los salones 26, 32 y 24. La figura 13 compara el ajuste entre las temperaturas simuladas de los modelos EdificioNuevo1J y el EdificioNuevo1L.

**FIGURA 12**

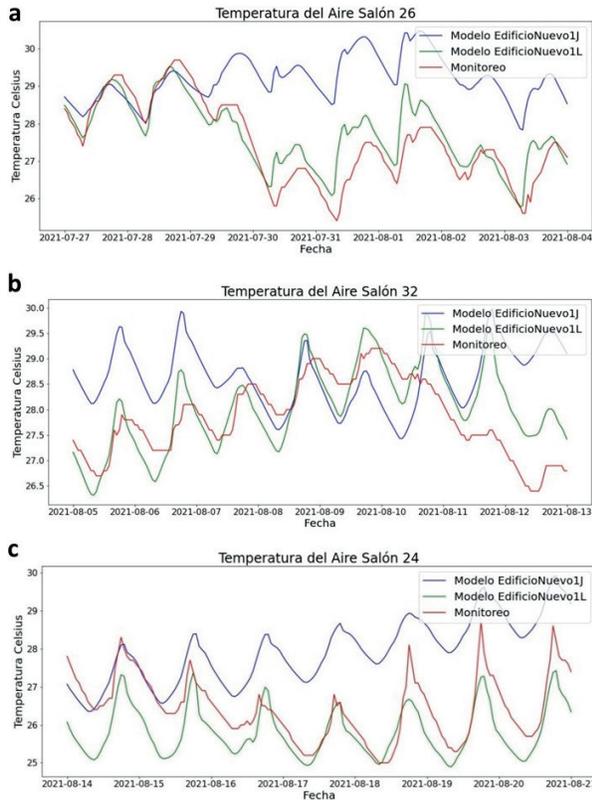
Temperatura de las superficies interiores de los espacios monitoreados. La temperatura del aire exterior se muestra con líneas de puntos en color gris, y la temperatura del aire interior se muestra con línea discontinua de color negro.



Fuente: elaboración propia.

**FIGURA 13**

Comparación entre las temperaturas del aire interior en las versiones EdificioNuevo1J, EdificioNuevo1L y las temperaturas monitoreadas obtenidas con la instrumentación instalada en los salones 26, 32 y 24



Fuente: elaboración propia.

Para evaluar el ajuste entre las temperaturas de modelo de validación y las temperaturas monitoreadas se utilizaron el error cuadrático medio y el error absoluto medio. El error cuadrático medio (ECM) corresponde a la raíz cuadrada del cociente entre la suma de los cuadrados de la desviación (diferencia entre el valor de la temperatura observada y el valor de la temperatura simulada) y el número de observaciones.

$$ECM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{O,i} - T_{S,i})^2}$$

Donde n es el total de observaciones de las temperaturas,  $T_O$  son las temperaturas observadas

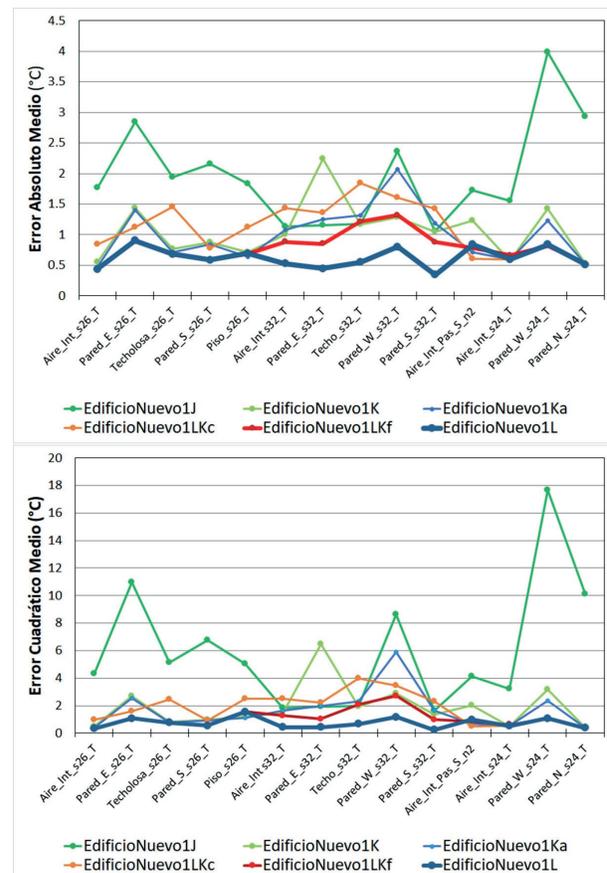
(monitoreadas con sensores) y  $T_S$  son las temperaturas del modelo de simulación térmica. El error absoluto medio (EAM) es obtenido con el promedio de los valores absolutos de la diferencia entre la temperatura observada  $T_O$  y la temperatura simulada  $T_S$ .

$$EAM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |T_{O,i} - T_{S,i}|$$

La figura 14 muestra los resultados obtenidos de los ECM y EAM, respectivamente. En ambas figuras se muestran todas las temperaturas consideradas para el análisis del modelo de validación para seis de las 17 versiones construidas.

**FIGURA 14**

Error cuadrático medio y error absoluto medio de las temperaturas observadas/simuladas para seis versiones del modelo de validación



Fuente: elaboración propia.

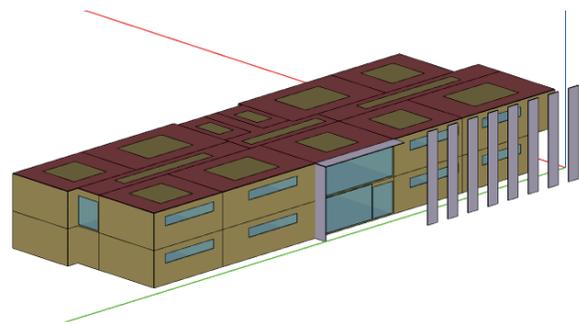
En la figura 14 se observa la evolución en el ajuste entre las temperaturas simuladas y las temperaturas observadas. El principal parámetro que influyó para el ajuste fue el valor de la masa térmica interna, este parámetro es relacionado con el almacenamiento de calor entre los cuerpos que se encuentran en el interior del edificio, en estos cuerpos debe incluirse la masa del aire presente en el interior del edificio, así como el mobiliario que se encuentre presente y la masa de los muros interiores. Las versiones que muestran un mayor ajuste en ambas figuras son EdificioNuevo1Lkf y Edificio1L, la única diferencia se presenta entre ambas versiones corresponde a temperaturas del salón 32.

La figura 15 muestra el isométrico del modelo de validación final, donde se observan los elementos de sombreado que representan los árboles cercanos al edificio. El efecto del sombreado por árboles se reflejó en la disminución de las temperaturas del salón 32 y un mayor ajuste con las temperaturas monitoreadas. Otra medida que se tomó para mejorar el modelo de simulación fue separar las viguetas de concreto de la losa aligerada y tratarlas como una subsuperficie de los espacios de la planta alta. Estas subsuperficies son representadas por los rectángulos de color café mostrados en el techo del edificio en la figura 15, el área de las subsuperficies es proporcional al área que ocupan las viguetas de concreto en la losa.

Como puede observarse en la figura 14, en el modelo EdificioNuevo1L los errores ECM y EAM tiene valores menores a 2° C y 1° C, respectivamente, para las temperaturas consideradas en la validación. El valor de desviación entre temperaturas simuladas y monitoreadas menor a 1° C es aceptable, considerando la precisión de los equipos de monitoreo (que es de +/- 0.5° C).

**FIGURA 15**

Isométrico de la versión final (EdificioNuevo1L) del modelo de validación con los elementos de sombreado representando los árboles cercanos al edificio y subsuperficies de las viguetas de concreto en el techo



Fuente: elaboración propia.

El siguiente paso de la calibración consiste en la validación de dicho modelo. Para la validación se pueden monitorear las temperaturas del aire interior y paredes en otros espacios o zonas térmicas, así como considerar otra época del año. De esta forma se verifica que el modelo de simulación tiene la aproximación requerida en estas condiciones diferentes de monitoreo. En caso de que no se alcance el límite de los errores establecidos (ECM y EAM), entonces el modelo debe modificarse para reducir dichos errores. Una vez que el modelo ha sido validado, el modelo está listo para ser modificado para simular el edificio con adecuaciones que pueden reducir el consumo de energía. Algunas medidas de mejora para este edificio que se pueden considerar son el sombreado en ventanas, aislamiento térmico en paredes, recubrimientos para techos con mayores valores de reflectancia solar-emisividad infrarroja, cambiar ventanas de vidrio sencillo a doble vidrio, cambiar los sistemas de climatización actuales por sistemas más eficientes, entre otras. Posteriormente cada propuesta debe ser evaluada con un análisis de costo-beneficio antes de ser implementada.

## CONCLUSIONES

La revisión sobre trabajos de investigación presentada en este artículo permite identificar algunas aplicaciones del BEM. Se ha mostrado cómo algunos investigadores han utilizado software para diseñar edificios de oficinas y residenciales con desempeños energéticos más eficientes. Para ello se han utilizado herramientas adicionales que permiten realizar corridas de forma automatizada, variando parámetros que incluyen la geometría del edificio. Otros autores han aplicado la simulación de edificios para evaluar el desempeño térmico y propuestas de mejora para la rehabilitación térmica de edificios, algunos de ellos considerados como patrimonio histórico. Otras aplicaciones del BEM revisadas en este trabajo corresponden a la justificación de normas relacionadas con techos reflectivos, y la evaluación de tecnologías novedosas como los paneles con materiales que cambian su fase para almacenar energía en la envolvente.

Por otra parte, resultados obtenidos con el software TRNSYS muestran que las ciudades de clima cálido extremo en México (zonas térmicas 1 y 2) presentan los mayores efectos de la RS y EI sobre el consumo energético para un edificio residencial tipo. Los datos obtenidos con este ejercicio concluyen que los beneficios por el uso de techos reflectivos son mayores en las zonas térmicas 1 y 2, mientras que el aislamiento térmico en techo tendrá mejores efectos en las zonas térmicas 3 y 4 si se consideran los valores óptimos de RS y EI. Otro caso de aplicación corresponde a un proceso de calibración de un modelo de simulación de un edificio académico desarrollado con OpenStudio. Para calibrar el modelo del edificio académico, el proceso que se utilizó fue mejorar el nivel de detalle del modelo de simulación en cada versión y en las versiones finales realizar un análisis paramétrico en variables de entrada con mayor incertidumbre, como son la infiltración y la masa térmica interna.

Existen retos importantes en la modelación energética enfocada en edificaciones, como mejorar la interoperabilidad con los software BIM,

así como disminuir los tiempos y costos para que su uso sea más extendido durante el diseño temprano de edificios proyectados, o durante la remodelación de edificios ya construidos. Sin embargo, es indudable que el uso de la modelación energética en edificios cada vez es más extendido en todo mundo. En México también se observa un crecimiento de casos de aplicación del BEM en la última década, esto a través de un mayor número de publicaciones realizadas por investigadores de universidades y centro de investigación del país, así como exposiciones de casos realizadas por diversas empresas que ya ofrecen servicios de consultoría en este tema.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Homoud, M. S. (2001). Computer-aided building energy analysis techniques. *Building and Environment*, 36(4): 421-433. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(00\)00026-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00026-3)
- Akbari, H., Konopacki, S., Parker, D., Wilcox, B., Eley, C., y Van Geem, M. (1998). Calculations in Support of SSP90.1 for Reflective Roofs. *ASHRAE Transactions*, 104(1B): 984-995.
- Akbari, H., Konopacki, S., y Pomerantz, M. (1999). Cooling energy savings potential of reflective roofs for residential and commercial buildings in the United States. *Energy*, 24(5): 391-407. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(98\)00105-4](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(98)00105-4)
- Akbari, H., y Levinson, R. (2008). Evolution of Cool-Roof Standards in the US. *Advances in Building Energy Research*, 2(1): 1-32. <https://doi.org/10.3763/aber.2008.0201>
- Álvarez-García, G. S., Shah, B., Rubin, F., Gilbert, H., Martín-Domínguez, I., y Shickman, K. (2014). Evaluación del impacto del uso de “cool roof” en el ahorro de energía en edificaciones no-residenciales y residenciales en México. Recuperado de <https://www.coolrooftoolkit.org/wp-content/uploads/2014/05/informe-cool-roofs-conuee-mayo-22-2014-espan%cc%83ol.pdf>
- Alwan, Z., Nawarathna, A., Ayman, R., Zhu, M., y ElGhazi Y. (2021). Framework for parametric assessment of operational and embodied energy impacts utilizing BIM. *Journal of Building Engineering*, núm. 42, pp. 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102768>

- Asociación Española de Normalización (UNE). (2020). Informes de normalización: BIM. Estandarización de la información digital para el proyecto, construcción y gestión de edificios y obras de ingeniería civil. Recuperado de [https://www.une.org/normalizacion\\_documentos/est%20c3%a1ndares%20en%20apoyo%20del%20bim.pdf](https://www.une.org/normalizacion_documentos/est%20c3%a1ndares%20en%20apoyo%20del%20bim.pdf)
- Bojórquez-Morales, G., Luna-León, A., Ruiz-Torres, P., Gómez-Azpeitia, G., y García-Cueto, R. (2011). Confort térmico y normatividad. Memorias del XXXV Congreso Nacional de Energía Solar (ANES) (pp. 369-374).
- Bonomolo, M., Di Lisi, S., y Leone, G. (2021). Building Information Modelling and Energy Simulation for Architecture Design. *Applied Science*, 11(5): 1-31. <https://doi.org/10.3390/app11052252>
- California Energy Commission. (2001). Energy Efficiency Standards for Residential and Nonresidential Buildings. P400-01-024. Sacramento, California.
- Calixto-Aguirre, I., Huelsz, G., Barrios, G., y Cruz-Salas, M. V. (2021). Validation of thermal simulations of a non-air-conditioned office building in different seasonal, occupancy and ventilation conditions. *Journal of Building Engineering*, núm. 44, pp. 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2021.102922>
- Chiu, J. N. W., y Martin, V. (2013). Multistage latent heat cold thermal energy storage design analysis. *Applied Energy*, núm. 112, pp. 1438-1445. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.01.054>
- Clarke, J. A., y Hensen, J. L. M. (2015). Integrated Building Performance Simulation: Progress, Prospects and Requirements. *Building and Environment*, núm. 91, pp. 294-306. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.04.002>
- Crawley, D. B., (2008). Building Performance Simulation: A Tool for Policymaking. Tesis de Doctorado en Filosofía. Universidad de Strathclyde, Glasgow, Escocia. [http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/PhD/crawley\\_thesis.pdf](http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/PhD/crawley_thesis.pdf)
- Devaux, P., y Farid, M. M. (2017). Benefits of PCM underfloor heating with PCM wallboards for space heating in winter. *Applied Energy*, núm. 191, pp. 593-602. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.01.060>
- De Wilde, P. (2018). Building Performance Analysis. Chichester: Wiley-Blackwell.
- Fogiatto, M. A., Santos, G. H., y Mendes, N. (2016). Thermal Transmittance Evaluation of Concrete Hollow Blocks. 12th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics (pp. 1291-1296).
- Gao, H., Koch, C., y Wu, Y. (2019). Building information modelling based building energy modelling: A review. *Applied Energy*, núm. 238, pp. 320-343. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.032>
- Gao, Y., Xua, J., Yang, S., Tang, X., Zhou, Q., Ge, J., Xu, T., y Levinson, R. (2014). Cool roofs in China: Policy review, building simulations, and proof-of-concept experiments. *Energy Policy*, núm. 74, pp. 190-214. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.05.036>
- Gassar, A. A. A., Koo, C., Kim, T. W., y Cha, S. H. (2021). Performance Optimization Studies on Heating, Cooling and Lighting Energy Systems of Buildings During the Design Stage: A Review. *Sustainability*, 13(17): 1-47. <https://doi.org/10.3390/su13179815>
- Halverson, M. A., Stucky, D. J., Fredrich, M., Godoy-Kain, P., Keller, J. M., y Somasundaran, S. (1994). Energy Effective and cost effective building energy conservation measures from Mexico. Richland, Washington: Pacific NW Laboratory.
- Han, T., Huang, Q., Zhang, A., y Zhang, Q. (2018). Simulation-Based Decision Support Tools in the Early Design Stages of a Green Building: A Review. *Sustainability*, 10(10): 1-23. <https://doi.org/10.3390/su10103696>
- Hong, T., Chou, S. K., y Bong, T. Y. (2000). Building simulation: An overview of developments and information sources. *Building and Environment*, 35(4): 347-361. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(99\)00023-2](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(99)00023-2)
- Jeong, S. G., Lee, T., y Lee, J. (2021). Evaluation of Energy Performance and Thermal Comfort Considering the Heat Storage Capacity and Thermal Conductivity of Biocomposite Phase Change Materials. *Processes*, núm. 9, pp. 1-18. <https://doi.org/10.3390/pr9122191>
- Kamel, E., y Memari, A. M. (2019). Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions. *Automation in Construction*, núm. 97, pp. 164-180. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.008>

- Kuznik, F., Virgone, J., y Johannes, K. (2010). Development and validation of a new TRNSYS type for the simulation of external building walls containing PCM. *Energy and Buildings*, 42(7): 1004-1009. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.01.012>
- Levinson, R., y Akbari, H. (2010). Potential benefits of cool roofs on commercial buildings: Conserving energy, saving money, and reducing emission of greenhouse gases and air pollutants. *Energy Efficiency*, núm. 3, pp. 53-109. <https://doi.org/10.1007/s12053-008-9038-2>
- Lobos, D., Silva-Castillo, L., y Wandersleben, G. (2014). Mapeo de interoperabilidad entre BIM y BPS software (simulación energética) para Chile. *Proceedings of the XVII Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics: Knowledge-based Design*. <https://doi.org/10.5151/despro-sigradiz2013-0072>
- Lucero-Álvarez, J. (2016). Estudio comparativo de recubrimientos para techos y el efecto sobre el confort humano y uso de energía en México. Tesis doctoral. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S. C.
- Lucero-Álvarez, J., Alarcón-Herrera, M. T., y Martín-Domínguez, I. R. (2014). The effect of solar reflectance, infrared emissivity, and thermal insulation of roofs on the annual thermal load of single-family households in México. *Memoria de Congreso Eurosun 2014*. Aix-Les-Bains, Francia.
- Lucero-Álvarez, J., Rodríguez-Muñoz, N. A., y Martín-Domínguez, I. R. (2016). The Effects of Roof and Wall Insulation on the Energy Costs of Low Income Housing in Mexico. *Sustainability*, núm. 8, p. 590. <https://doi.org/10.3390/su8070590>
- Lucero-Álvarez, J., y Martín-Domínguez, I. R. (2019). The effect of solar reflectance, infrared emissivity, and thermal insulation of roofs on the annual energy consumption of single-family households in México. *Indoor and Built Environment*, 28(1): 17-33. <https://doi.org/10.1177/1420326X17729194>
- Mazzocco, M. P., Filippin, C., Sulaiman, H., y Flores-Larsen, S. (2018). Performance energética de una vivienda social en Argentina y su rehabilitación basada en simulación térmica. *Ambiente Construido*, 8(4): 215-235. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000400302>
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C. (2009). *Industria de la construcción —aislamiento térmico—*. Valor “R” para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana —especificaciones y verificación. (NMX-C460-ONNCCE-2009).
- Østergård, T., Jensen, R. L., y Maagaard, S. E. (2016). Building simulations supporting decision making in early design: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, núm. 61, pp. 187-201. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.045>
- Pérez, J. B., Cabanillas, R. E., Hinojosa, J. F., y Borbón, A. C. (2011). Estudio numérico de la resistencia térmica en muros de bloques de concreto hueco con aislamiento térmico. *Información Tecnológica*, 22(3): 27-38. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642011000300005>
- Royon, L., Karim, L., y Bontemps, A. (2013). Thermal energy storage and release of a new component with PCM for integration in floors for thermal management of buildings. *Energy and Buildings*, núm. 63, pp. 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.03.042>
- Samuelson, H., Claussnitzer, S., Goyal, A., Chen, Y., y Romo-Castillo, A. (2016). Parametric Energy Simulation in Early Design: High-Rise Residential Buildings in Urban Contexts. *Building and Environment*, núm. 101, pp. 19-31. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.02.018>
- Secretaría de Energía. (2011). *Eficiencia energética en edificaciones. Envoltante de edificios para uso habitacional*. (NOM-020-ENER-2011).
- Soares, N., Costa, J. J., Gaspar, A. R., y Santos, P. (2013). Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings energy efficiency. *Energy Building*, núm. 59, pp. 82-103. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.12.042>
- Tabares-Velasco, P. C., Christensen, C., y Bianchi, M. (2012). Verification and validation of EnergyPlus phase change material model for opaque wall assemblies. *Building and Environment*, núm. 54, pp. 186-196. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.02.019>
- Taha, H. (2008). Meso-urban meteorological and photochemical modeling of heat island mitigation. *Atmospheric Environment*, 42(38): 8795-8809. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.06.036>

- Tzempelikos, A., y Lee, S. (2021). Cool Roofs in the US: The Impact of Roof Reflectivity, Insulation and Attachment Method on Annual Energy Cost. *Energies*, 14(22): 1-17. <https://doi.org/10.3390/en14227656>
- Ulu, M., y Arsan, Z. D. (2020). Retrofit Strategies for Energy Efficiency of Historic Urban Fabric in Mediterranean Climate. *Atmosphere*, 11(7): 1-33. <https://doi.org/10.3390/atmos11070742>
- U. S. Department of Energy. (2012). 2011 Buildings Energy Data Book. Recuperado de [http://192.31.135.76/docs/databooks/2011\\_bedb.pdf](http://192.31.135.76/docs/databooks/2011_bedb.pdf)
- . (2021a). About Building Energy Modeling. Recuperado de <https://www.energy.gov/eere/buildings/about-building-energy-modeling>
- . (2021b). Architecture Firm Perkins & Will “SPEEDS” Up Early-Stage BEM. Recuperado de <https://www.energy.gov/eere/buildings/articles/architecture-firm-perkinswill-speeds-early-stage-bem>

# Proyección electrificada del consumo energético residencial: México y la meta global de temperatura de 1.5° C

## *Electrified Projection of Residential Energy Consumption: Mexico and the Global Temperature Goal of 1.5° C*

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i12.218>

### **CHRISTIAN HERNÁNDEZ CÁRDENAS**

Universidad de Guadalajara, México / ORCID: 0000-0001-5073-2865

Correo electrónico: christian.hc84@gmail.com

### **DAVID CARLOS ÁVILA RAMÍREZ**

Universidad de Guadalajara, México / ORCID: 0000-0002-8563-1578.

Correo electrónico: david22\_2000@hotmail.com

Recepción: 05 de febrero de 2022. Aceptación: 14 de mayo de 2022.

## **RESUMEN**

Los gobiernos nacionales concuerdan en mantener el calentamiento global por debajo de 1.5° C para evitar los efectos adversos del cambio climático. Sin embargo, sus promesas de reducción de emisiones de la COP26 rebasan en 60% este objetivo. El 65% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) se producen por el consumo doméstico, siendo el consumo energético residencial uno de los mayores emisores. El objetivo es analizar las tendencias del consumo energético residencial en México y compararlas con dos escenarios de electrificación energética residencial, compatibles con el presupuesto de 1.5° C. Se proyectó un escenario Business As Usual (BAU) analizando el consumo energético residencial del periodo 2005-2019, y comparando sus emisiones de GEI con el presupuesto de 1.5° C de la trayectoria Low Energy Demand (LED). La electrificación de los otros dos escenarios se calculó convirtiendo a energía eléctrica el consumo

de los energéticos proyectados en el escenario BAU, asegurando que el factor de emisiones del sistema eléctrico nacional (SEN) fuera compatible con la trayectoria LED. Los resultados indican que las tendencias actuales excederían el presupuesto a partir del año 2033, superándolo en 374% al final del siglo. Mientras que los escenarios de electrificación necesitarían que el factor de emisiones del SEN decreciera exponencialmente de 0.494 tCO<sub>2</sub>e/MWh actuales a 0.108 tCO<sub>2</sub>e/MWh en 2100. Estos resultados hacen evidente la necesidad de introducir el tema del presupuesto de emisiones de 1.5° C a la discusión de la iniciativa de reforma eléctrica, para garantizar que las políticas energéticas de México estén en concordancia con los acuerdos internacionales en la materia.

Palabras clave: consumo eléctrico residencial, Business As Usual (BAU), energías renovables, presupuesto de emisiones para 1.5° C, México.

## ABSTRACT

National governments agree to keep global warming below 1.5° C to avoid the adverse effects of climate change. However, its promises to reduce emissions at COP26 exceed this objective by 60%. The 65% of global GHG emissions are produced by household consumption, with residential energy consumption being one of the largest emitters. The objective is to analyze the trends of residential energy consumption in Mexico, and compare them with two residential energy electrification scenarios, compatibles with the 1.5° C budget. A Business As Usual (BAU) scenario was projected by analyzing residential energy consumption for the 2005-2019 years, and comparing its GHG emissions with the 1.5° C budget of the Low Energy Demand (LED) trajectory. The electrification of the other two scenarios was calculated by converting the energy consumption projected in the BAU scenario to electrical energy, ensuring that the emissions factor of the national electricity system (SEN) was compatible with the LED trajectory. The results indicate that current trends would exceed the budget as of 2033, exceeding it by 374% at the end of the century. While the electrification scenarios would require the SEN emissions factor to decrease exponentially from the current 0.494 tCO<sub>2</sub>e/MWh to 0.108 tCO<sub>2</sub>e/MWh in 2100. These results make evident the need to introduce the issue of the 1.5° C emissions budget to the discussion of the electricity reform initiative, to ensure that Mexico's energy policies are in accordance with international agreements on the matter.

Keywords: residential electricity consumption, Business As Usual (BAU), renewable energies, emissions budget for 1.5° C, Mexico.

## INTRODUCCIÓN

Los científicos climáticos han advertido que las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) producidas a partir de la Revolución Industrial han provocado un calentamiento

global de más de 1.0° C que debería frenarse en la primera mitad de este siglo, porque de lo contrario, el cambio climático asociado tendrá graves repercusiones para la mayoría de las especies que habitamos el planeta, poniendo en riesgo muchos de los sistemas socioecológicos en los que se basa nuestra civilización (The Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2018). Las consecuencias de este cambio climático acelerado incluyen: el derretimiento de la criosfera que tiene el potencial de aumentar el nivel del mar en más de 10 metros, inundando numerosas ciudades costeras; las olas de calor en los océanos que acabarían con los ecosistemas tropicales de corales y el sustento de millones de personas; las olas de calor continentales que provocarían la pérdida de los bosques tropicales y boreales del planeta, convirtiéndolos en emisores de GEI en lugar de sumideros (Lenton et al., 2019). El mayor riesgo del calentamiento global es cruzar el umbral de 2.0° C, a partir del cual los efectos adversos del cambio climático se podrían retroalimentar a sí mismos, llevando al planeta a un estado de invernadero, donde la temperatura no se podría reducir incluso si las emisiones antropogénicas de GEI lo hicieran (Steffen et al., 2018).

Además, se estima que de no reducir el calentamiento global, en 50 años un tercio de la población humana vivirá en territorios con una temperatura media anual de hasta 18° C por arriba del nicho ambiental que ha hecho posible la civilización en los últimos 6,000 años, afectando la producción de alimentos y posiblemente forzando migraciones masivas hacia territorios más favorables (Xu et al., 2020). En este sentido, los gobiernos nacionales reconocen que el calentamiento global debería ser limitado por debajo de 1.5° C para evitar los peores efectos y riesgos del cambio climático (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [CMNUCC], 2015). Sin embargo, este objetivo de temperatura se queda en el discurso, como lo demuestran las últimas promesas de reducción de emisiones de GEI presentadas en la COP26, que llevarían al planeta a un calentamiento global de 2.4° C (Sheather, 2021).

El consumo de los hogares a nivel global durante 2007 representó el 65% del total de emisiones de GEI, siendo la electricidad generada con carbón y la quema directa de combustibles en las viviendas unas de las principales fuentes de emisiones (Ivanova et al., 2016). En México, estudios anteriores muestran que el mismo año las emisiones de GEI producidas por la energía utilizada en las viviendas representaron cerca del 22% del total de las emisiones de los hogares (Vita, 2019). En el caso de la Ciudad de México, el consumo de electricidad y quema de combustibles en las viviendas durante 2008 generó una huella de 555 kgCO<sub>2</sub>e/cap.-año, 48% correspondiente a la quema de combustibles y 52% a la producción de electricidad (Cruz, 2016). Generar estrategias para reducir estos niveles de emisiones es crucial para la acción climática, dado que esta huella de GEI consumiría el 79% del presupuesto anual de emisiones que una persona podría emitir en el año 2050 para conseguir el objetivo de temperatura de 1.5° C (Akenji et al., 2019). En tal sentido, varias ciudades de Estados Unidos se han adherido al movimiento conocido como *Electrify everything*, que busca prohibir la quema de gas para la cocción de alimentos y la calefacción de las viviendas, y en su lugar promueve el uso de la electricidad, cuya intensidad de emisiones se ha reducido en los últimos años, facilitando la descarbonización del consumo energético residencial (Davis, 2021). De igual forma, Ecuador ha impulsado desde 2014 un programa nacional para cambiar las estufas de gas LP (GLP) por estufas de inducción magnética, debido a que esta tecnología ha demostrado ser muy eficiente (Gould et al., 2018).

Además de generar emisiones de GEI, la quema de combustibles en las viviendas, en especial la leña, contamina el aire que respiran sus habitantes, provocando a nivel global más de cuatro millones de muertes prematuras al año (Hernández-Garduño et al., 2017). Aunque la leña es un material renovable y las emisiones de GEI que produce su quema son previamente secuestradas durante el crecimiento del árbol, se han encontrado indicios en varios estados de México

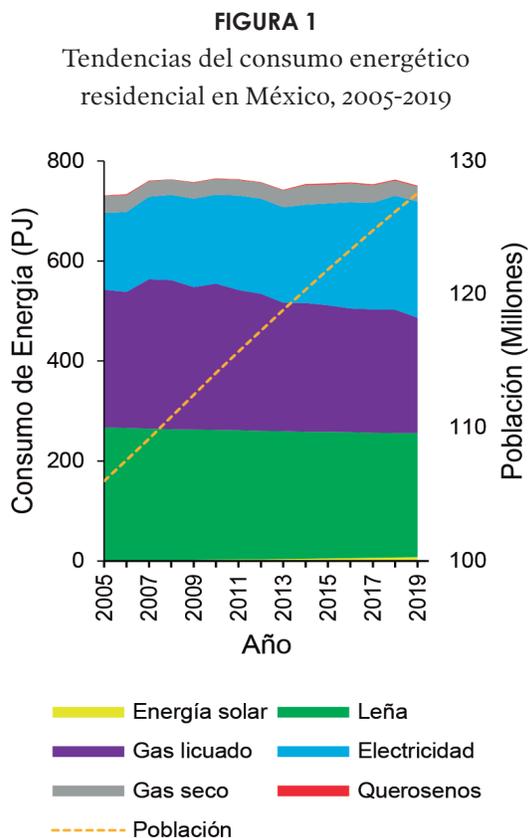
que muestran una extracción mayor al ritmo de regeneración de la misma, lo que contribuye a la reducción del secuestro de carbono necesario para luchar contra el cambio climático (Lagunes Díaz et al., 2015). En México el uso de leña como combustible en las viviendas se ha reducido de 1990 a 2013 un 53%, en parte por la transición hacia el GLP y los programas gubernamentales de estufas ahorradoras de leña; sin embargo, en las áreas rurales esta transición ha sido mucho menor debido a la escasa accesibilidad al GLP y la identidad cultural de muchas comunidades alrededor de la cocción de alimentos con leña (Hernández-Garduño et al., 2017; Lagunes Díaz et al., 2015).

El objetivo de este artículo es analizar las tendencias del consumo energético residencial en México para generar un escenario *Business as Usual* (BAU), y compararlo con dos escenarios de electrificación energética residencial, compatibles con la meta de temperatura de 1.5° C. Estos escenarios pueden contribuir proactivamente en la discusión de la propuesta de reforma constitucional en materia de energía eléctrica que el actual Gobierno de México está impulsando. Estos debates son relevantes debido a que análisis recientes indican que el decreto emitido y suspendido por el Poder Judicial en el mes de julio de 2021, que pretendía priorizar la generación eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) por encima de las energías renovables, en conjunto con el uso del combustóleo que Petróleos Mexicanos (Pemex) no puede vender, aumentarían hacia el año 2050 las emisiones de GEI de la generación eléctrica en 125% respecto a las tendencias actuales, además de que en ambos casos las emisiones del sector superarían las promesas de reducción de emisiones presentadas por México en el Acuerdo de París (Gutiérrez-Meave et al., 2021).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### ESCENARIO BAU DEL CONSUMO ENERGÉTICO RESIDENCIAL EN MÉXICO

Se utilizaron los datos abiertos del Sistema de Información Energética (Secretaría de Energía [Sener], 2020) para analizar las tendencias del consumo energético residencial en México de 2005 a 2019, y proponer métodos de pronóstico adecuados para cada tipo de energía (energía solar, leña, GLP, querosenos, gas seco y electricidad) para el periodo 2020 a 2100. Durante el periodo analizado la energía eléctrica mostró una clara línea de tendencia ascendente. Los querosenos y el gas seco presentaron líneas de tendencia ascendente, pero con mínimos. La leña tuvo un decrecimiento constante. La energía solar presentó un crecimiento que tiende a incrementarse hacia el final del periodo. El GLP mostró altibajos, pero con una línea de tendencia descendente. En la figura 1 se muestran las últimas tendencias del consumo energético residencial en México.



Fuente: elaborado con datos de Sener (2020).

Kaytez et al. (2015) encontraron que la capacidad eléctrica instalada, el número de suscriptores, la generación eléctrica bruta y la población total muestran buenos resultados al ser utilizadas

como variables independientes en los pronósticos de consumo eléctricos. Sin embargo, su análisis sólo compara los resultados de los modelos de pronóstico con los datos reales de consumo eléctrico del periodo donde se conocían esas variables. En el caso de México, para el periodo 2020-2100 la única de dichas variables para la cual existe un pronóstico es la población total estimada. La variable de población se obtuvo directamente de la proyección de variante media del crecimiento poblacional de México, la cual refleja la incertidumbre de los niveles futuros de mortalidad y fecundidad, utilizando la variabilidad histórica de cada variable basada en la experiencia nacional (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2019).

Debido al incremento del consumo eléctrico residencial observado en el periodo 2005-2019, y su aparente relación con el incremento de la población (figura 1), se decidió pronosticar el consumo de la energía eléctrica mediante un modelo de regresión lineal que considera como variable independiente el total de población estimada para cada año durante el periodo 2020-2100.

Para la leña se utilizó un modelo de regresión lineal empleando la variable año como independiente, con el supuesto de que su uso seguirá disminuyendo con el tiempo, como lo muestran las tendencias observadas (figura 1), gracias al cambio tecnológico (Hernández-Garduño et al., 2017; Lagunes Díaz et al., 2015).

En el caso de la energía solar se decidió usar un modelo de regresión lineal con dos variables independientes, el año y la población. De esta forma se puede proyectar un crecimiento con incrementos anuales similares a la tendencia mostrada en el periodo 2014-2019 (figura 1).

La disminución observada en el consumo del gas LP puede atribuirse al incremento en el uso energía solar, específicamente la tecnología de calentadores solares para el agua (figura 1). En este sentido, para proyectar el comportamiento del consumo doméstico de gas LP se utilizó un modelo de regresión logarítmica empleando como variable independiente la energía solar, con el objetivo de mostrar un decrecimiento inicial que tienda a estabilizarse con el tiempo.

Por otra parte, para proyectar el gas seco, también conocido como gas natural, se decidió utilizar un modelo de regresión lineal utilizando como variable independiente el total de población estimada para cada año. Con este modelo el consumo del gas seco no disminuye con el tiempo, a diferencia del modelo utilizado para el gas LP. El objetivo es proyectar un mayor porcentaje de uso del gas seco en relación con el gas LP, como lo proponen los escenarios de las últimas propuestas de acción climática en México (Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara [Imeplan], 2020), y como se observa en la tendencia del periodo 2005-2019 (figura 1).

Por último, la proyección de los querosenos también utiliza un modelo de regresión lineal con la estimación de población como variable independiente. De esta forma, se puede proyectar un consumo estable como el observado en el periodo 2005-2019 (figura 1). Cabe mencionar que el uso de querosenos obedece principalmente a las necesidades de calefacción en climas fríos, y no se cuenta con las estimaciones climáticas del periodo 2020-2100 para añadir esta variable a la proyección. Sin embargo, a pesar de esta limitante es preciso mencionar que los querosenos apenas representaron el 0.21% de la energía utilizada por

los hogares durante el periodo 2005-2019 (figura 1), y no se espera que su uso aumente significativamente. La tabla 1 muestra los parámetros de los modelos.

#### COMPARACIÓN DE EMISIONES DE GEI DEL ESCENARIO BAU Y EL PRESUPUESTO DE EMISIONES PARA 1.5° C

El impacto per cápita de emisiones de GEI (tCO<sub>2</sub>e/cap.-año) del consumo energético residencial en México se obtuvo multiplicando el pronóstico del consumo de cada tipo de energía por el factor de emisiones correspondiente (Bustamante y Rampone, 2013; Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2014), y dividiendo la suma anual de emisiones entre la población de la trayectoria LED de cada año del periodo 2020 a 2100 (Huppmann et al., 2019). Las emisiones de GEI producidas por la quema de la leña no fueron incluidas porque la evidencia sugiere que la mayoría de la leña utilizada en los hogares de México se obtiene sin superar su capacidad de regeneración (Lagunes Díaz et al., 2015). De igual forma las emisiones de GEI de la energía solar tampoco se incluyeron, bajo el supuesto de que se trata de energía solar térmica utilizada por calentadores solares que no generan emisiones directas.

**TABLA 1**  
Parámetros de los modelos de pronóstico de consumo energético

Variable dependiente	Variable independiente	Valor		Constante		R <sup>2</sup>	Pr1	Pr2
Electricidad	Población	3.407 (0.144)	**	-208.145 (16.933)	**	0.977	Na	Na
Queroseno	Población	0.035 (0.016)	*	-2.535 (1.933)		0.261	Na	Na
Gas seco	Población	0.097 (0.119)		-21.928 (13.921)		0.049	Na	Na
Leña	Año	-1.307 (0.010)	**	2,885.925 (19.829)	**	0.999	Na	Na
Energía solar	Población	-1.585 (0.335)	**	-5,751.396 (1,008.122)	**	0.991	Na	Na
	Año	2.953 (0.521)	**					
GLP	Energía solar	Ln		Na	Na	Na	-26.944 (5.109)	299.746 (6.859)

Nota: Ln = logaritmo natural. Na = no aplica. \*\* p<0.001. \*p<0.05.  
Fuente: Elaboración propia con datos de Sener (2020).

Para obtener el presupuesto per cápita de emisiones de GEI del consumo energético es necesario realizar varios cálculos (Akenji et al., 2019). Primero, se decidió utilizar como base la trayectoria global de emisiones low energy demand (LED) (Grubler et al., 2018b; Huppmann et al., 2019), porque presenta un presupuesto remanente de emisiones compatible con la meta de temperatura de 1.5° C, sin considerar el uso de tecnologías de bioenergía con captura y almacenamiento de carbono (BECCS), las cuales aún no tienen un nivel de madurez tecnológica adecuado para desplegarse a escala global, y por el contrario sólo depende de la forestación como método de secuestro de carbono (The Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2018). Enseguida, el presupuesto per cápita total de emisiones de GEI de la trayectoria LED se obtuvo dividiendo el total de emisiones antrópico-utilitarias entre la población mundial estimada para cada año (Huppmann et al., 2019). Las emisiones antrópico-utilitarias (tCO<sub>2</sub>e) de GEI se obtuvieron multiplicando las variables de emisiones de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, SF<sub>6</sub>, PFC y HFC, por su potencial de calentamiento global a cien años (GWP100) (The Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2007).

Posteriormente, el presupuesto per cápita de emisiones de GEI del consumo energético residencial se obtuvo multiplicando el presupuesto per cápita total por los siguientes factores: 1) 65% de participación de los hogares en el total de emisiones de GEI; 2) 22% de participación de la categoría vivienda en el impacto total de los hogares mexicanos, y 3) 90% de supuesto de participación de la energía en el total de la categoría de vivienda (Vita, 2019). Por último, el secuestro de carbono per cápita de la trayectoria LED se calculó dividiendo la variable de agricultura, silvicultura y otros usos de suelo (AFOLU) entre la población estimada de cada año (Huppmann et al., 2019).

#### ESCENARIOS DE ELECTRIFICACIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL COMPATIBLES CON 1.5° C

Se realizaron dos escenarios de electrificación energética residencial. En ambos escenarios el

pronóstico del consumo energético (PJ) de gas seco se convirtió a su equivalente de GLP, multiplicándolo por un factor de conversión energético obtenido dividiendo el promedio nacional del poder calorífico (PJ) del gas seco entre el análogo del GLP (INECC, 2014). Posteriormente, ambos montos se sumaron a un solo pronóstico de consumo de GLP (kg/año), y el total se transformó a energía eléctrica (kWh/año), multiplicándolo por un factor de conversión de poder calorífico aprovechado (FPCA) de una estufa de GLP a una de inducción. De igual forma, el pronóstico del consumo del queroseno (lt/año) se transformó a energía eléctrica (kWh/año), multiplicándolo por un FPCA de un calentador de queroseno a uno eléctrico.

La diferencia entre ambos escenarios está en los supuestos utilizados para ajustar el consumo de leña. En el escenario 1 el pronóstico del consumo de leña (kg/año) se redujo, multiplicándolo por un FPCA de un fogón abierto a una estufa ahorradora de leña de bajo poder. Para el escenario 2 el pronóstico de consumo de leña (kg/año) se eliminó, multiplicándolo por un FPCA de un fogón abierto a una estufa de inducción.

Para calcular los FPCA se realizaron los siguientes pasos: 1) se obtuvieron los valores de energía primaria (MJ) por lt/queroseno (Bustamante y Rampone, 2013), kg/GLP, kg/madera (INECC, 2014) y kWh (Smil, 2016); 2) se obtuvieron los valores de eficiencia térmica (MJ) por lt/queroseno en un calentador de queroseno, kWh en un calentador eléctrico (Matson, 1983), kg/GLP en una estufa de GLP, kWh en una estufa de inducción (Tiandho et al., 2021), kg/madera en un fogón abierto y kg/madera en una estufa ahorradora de leña de bajo poder (Berrueta, 2007); 3) los valores de poder calorífico aprovechado de cada dispositivo se calcularon multiplicando los valores de energía primaria de su tipo de energético por los valores de eficiencia térmica correspondientes, y 4) finalmente, los FPCA se obtuvieron dividiendo el poder calorífico aprovechado del energético a convertir entre el poder calorífico aprovechado del energético objetivo. En la tabla 2 se muestran los valores utilizados para obtener los FPCA.

**TABLA 2**

Valores utilizados para obtener los FPCA

Dispositivo	Unidad	Energía primaria (MJ/unidad)	Eficiencia térmica	Poder calorífico aprovechado (MJ/unidad)
Fogón abierto	kg/leña	22.41	0.11	2.47
Estufa Patsari (bajo poder)	kg/leña	22.41	0.30	6.72
Estufa de GLP	kg/GLP	46.16	0.39	17.79
Estufa de inducción	kWh	3.60	0.74	2.67
Calentador de queroseno	lt/queroseno	36.16	0.90	32.54
Calentador eléctrico	kWh	3.60	1.00	3.60

Fuente: elaboración propia con datos de Berrueta (2007), Bustamante y Rampone (2013), INECC (2014), Matson (1983), Smil (2016) y Tiandho et al. (2021).

Posteriormente se realizó una proyección de los factores de emisiones ( $tCO_2e/MWh$ ) del sistema eléctrico nacional (SEN), para garantizar que el impacto anual de emisiones de GEI del consumo energético residencial de ambos escenarios estuviera por debajo del presupuesto per cápita de emisiones compatible con 1.5° C. Esta proyección se calculó con dos modelos de regresión no lineales, utilizando un modelo de crecimiento exponencial ( $pr1 * \exp(pr2 * X1)$ ) para el periodo 2020 a 2051, y un modelo de decaimiento en una fase ( $pr1 * \exp(-pr2 * X1) + pr3$ ) para el periodo 2051 a 2100. La combinación de estos modelos permite proyectar una curva similar a la mostrada por las trayectorias de reducción de emisiones compatibles con 1.5° C más conocidas. En estas trayectorias se caracterizan por una reducción intensa de las emisiones hasta la mitad del siglo XXI, las cuales posteriormente se estabilizan hacia el año 2100 (IPCC, 2018). En la tabla 3 se muestran los parámetros de ambos modelos.

**TABLA 3**

Parámetros de los modelos de proyección del factor de emisiones del SEN

Variable dependiente	Variable independiente	Pr1	Pr2	Pr3
Factor de emisiones	Año	3.236e+27 (0.000)	-0.032 (0.000)	Na
Factor de emisiones	Año	5.477e+42 (0.000)	0.049 (0.000)	0.100 (0.002)

Fuente: elaboración propia.

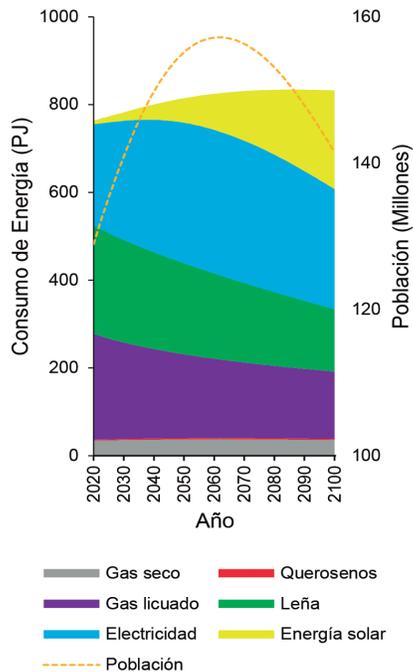
Finalmente, se propuso una mezcla energética que permitiera tener el factor de emisiones del SEN más bajo de la proyección. Para lograr el factor de emisiones objetivo se utilizó como punto de partida la capacidad instalada de las energías nucleoelectrónica, hidroeléctrica y la misma capacidad total instalada (MW) en 2021 (Sener, 2021b). Para completar el total de capacidad instalada se propusieron distintas cantidades de energía eoloelectrónica, gas natural y energía solar con baterías de litio. El factor de emisiones del SEN objetivo se obtuvo sumando los valores de las capacidades instaladas (MW) propuestas, multiplicados por los factores de emisiones ( $tCO_2e/MW$ ) correspondientes (Bieker, 2021; Krebs et al., 2020).

## RESULTADOS

El escenario BAU indica que el consumo energético residencial de México crecerá de 764 PJ en 2020 hasta los 833 PJ en 2100, con un pico máximo de 834 PJ en la década de 2080. La electricidad llegaría a un pico de 327 PJ en 2062. Por su parte, la energía solar térmica crecería exponencialmente hasta los 225 PJ al final del siglo. El gas seco y los querosenos se mantendrían estables. Mientras que los consumos de GLP y la leña disminuirían 36 y 42%, respectivamente. En la figura 2 se muestra el consumo energético residencial del escenario BAU.

**FIGURA 2**

Consumo energético residencial del escenario BAU



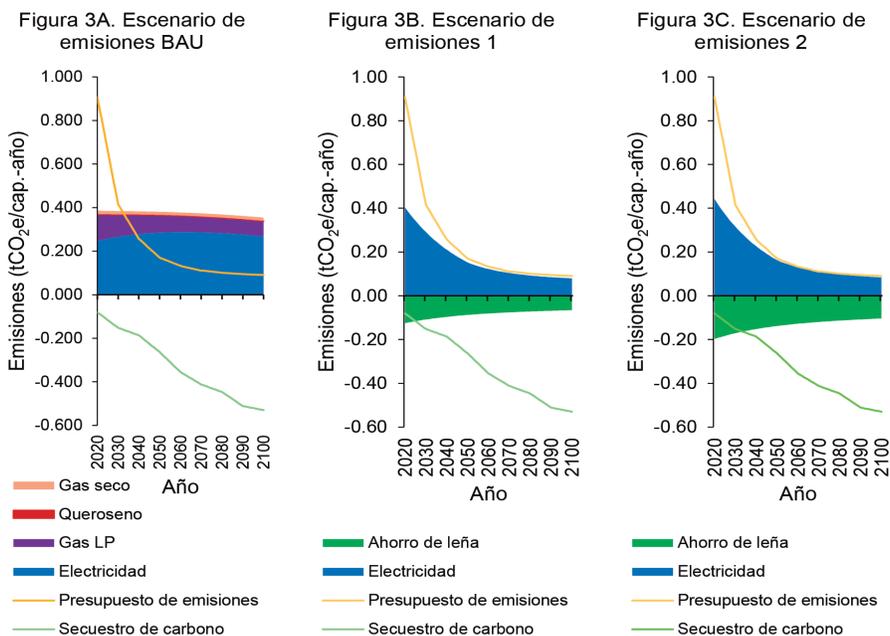
Fuente: elaboración propia a partir de datos del Sistema de Información Energética y la ONU (ONU, 2019; Sener, 2020).

El presupuesto per cápita de emisiones de GEI del consumo energético residencial de la trayectoria LED asciende en 2020 a 0.91 tCO<sub>2</sub>e/cap.-año. La mayor reducción se presenta en la década de 2020 a 2030 con una disminución del 54% sin que el escenario BAU lo rebase. No obstante, las emisiones de GEI del escenario BAU excederían el presupuesto a partir del año 2033, superándolo en 374% al final del siglo.

Por su parte, las emisiones de los dos escenarios de electrificación se mantienen por debajo del presupuesto de la trayectoria LED, con una diferencia marginal entre ambos si el consumo de leña se reduce por el uso de estufas ahorradoras de leña, o si se elimina al migrar a estufas de inducción. El secuestro de carbono logrado por el escenario 1 cubriría el monto per cápita necesario solamente hasta 2024, mientras que el escenario 2 lo haría ocho años más. Para el año 2100 el secuestro de carbono logrado por la disminución en el consumo de leña representaría el 12% en el escenario 1 y 20% en el escenario 2, respecto al total necesario. La figura 3 muestra los tres escenarios de emisiones.

**FIGURA 3**

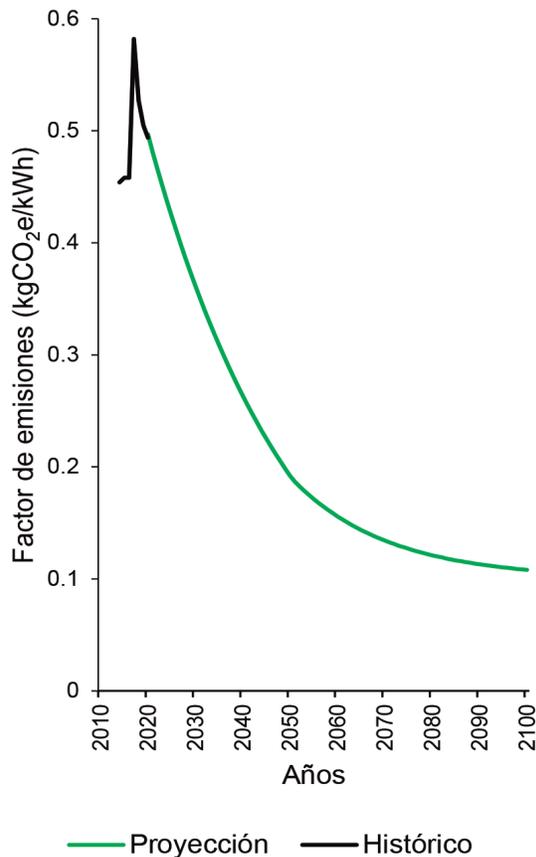
Escenarios de emisiones de GEI del consumo energético residencial



Fuente: elaborado con datos de Berrueta (2007), Bustamante y Rampone (2013), Grubler et al. (2018a), Huppmann et al. (2019), INECC (2014), Matson (1983), ONU (2019), Sener (2020), Smil (2016) y Tiandho et al. (2021).

**FIGURA 4**

Proyección del factor de emisiones del SEN



Fuente: elaboración propia con datos de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2021).

Los primeros tres reportes del factor de emisiones emitidos por la Semarnat (2021) en 2014, 2015 y 2016 con un promedio de 0.457 tCO<sub>2</sub>e/MWh, abarcaban únicamente las emisiones indirectas

de GEI del consumo eléctrico cuando el proveedor era la CFE. A partir de 2017 se incluyeron las emisiones de todo el SEN, y el factor subió a 0.582 tCO<sub>2</sub>e/MWh. Sin embargo, desde entonces este factor ha mostrado una tendencia a la baja, ubicándose en 0.494 tCO<sub>2</sub>e/MWh para 2020. Esta tendencia es compatible con el decrecimiento exponencial utilizado para proyectar el factor de emisiones del SEN necesario para mantener las emisiones de GEI del consumo energético residencial por debajo del presupuesto de 1.5° C. La figura 4 muestra la evolución histórica y la proyección del factor de emisiones del SEN.

El último factor de emisiones del SEN proyectado para el año 2100 es de 0.108 tCO<sub>2</sub>e/MWh. Los dos principales energéticos propuestos para alcanzar este factor son la energía solar fotovoltaica con almacenamiento en baterías de litio y la eoloeléctrica con un poco más de dos tercios de la mezcla energética requerida. La otra tercera parte necesaria para completar la mezcla incluye la energía nucleoelectrica e hidroeléctrica con la misma capacidad instalada actual, más un 15% de generación a partir de gas natural. En la tabla 4 se presentan los detalles de la mezcla energética propuesta.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La proyección de emisiones de GEI del escenario BAU coincide con investigaciones recientes que sugieren la necesidad de aumentar los esfuer-

**TABLA 4**

Mezcla energética objetivo para el factor de emisiones del SEN

Tipo de energía	Capacidad instalada (MW)	Participación	Factor de emisiones (kgCO <sub>2</sub> e/MWh)	Emisiones (tCO <sub>2</sub> e)
Nucleoelectrica	1,608.00	1.77%	0.016	25.73
Hidroeléctrica	12,670.97	13.95%	0.004	50.68
Eoloeléctrica	30,000.00	33.03%	0.012	360.00
Solar con baterías	32,600.00	35.90%	0.088	2,868.80
Gas natural	13,938.96	15.35%	0.469	6,537.37
Total	90,817.93	100.00%		9,842.59
Factor de emisiones (tCO <sub>2</sub> e/MWh)				0.108

Fuente: Elaboración propia con datos de (Bieker, 2021; Krebs et al., 2020).

zos para reducir las emisiones de GEI del sector energético de México si el país quiere cumplir con la meta de 1.5° C del Acuerdo de París (Gutiérrez-Meave et al., 2021). Este esfuerzo debería tratarse de forma urgente porque de seguir con la tendencia actual de consumo energético residencial las emisiones de GEI superarían el presupuesto de 1.5° C en menos de 12 años. En este sentido, preocupa que la actual política en materia de energía eléctrica impulsada por el gobierno de México parece ir en la dirección contraria, al promover una política pública pro-combustibles fósiles, que para 2050 superaría en 52% las 300 MtCO<sub>2</sub>e declaradas en la promesa de reducción de emisiones presentada en el Acuerdo de París (Gutiérrez-Meave et al., 2021).

La iniciativa de reforma constitucional en materia eléctrica presentada por el Gobierno de México argumenta que la reforma de 2013 pretendía provocar la desaparición de las empresas energéticas estatales, debilitando la seguridad energética, el SEN y la seguridad nacional, y en su lugar propone que “corresponde exclusivamente a la nación el área estratégica de la electricidad, consistente en generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica” (Cámara de Diputados, 2021). Su principal argumento es que la CFE no puede usar la energía de sus centrales porque está obligada a comprar primero la energía producida con energías renovables, pagando el precio ofertado más alto a todos los participantes de las subastas, incluso si éstos ofertaron un precio más bajo. Además, menciona que la reforma de 2013 provocó una sobreoferta de generación en su mayoría de energías renovables, y que de aprobarse todos los permisos pendientes se triplicaría la demanda requerida, considerando un 20% de capacidad de reserva. Si bien este mecanismo de pago provoca pérdidas económicas al erario, que probablemente llevarían a la desaparición de la generación eléctrica de CFE, quedando reducida a coordinar solamente la transmisión, lo cierto es que de aprobarse todos los permisos pendientes se podría acelerar la reducción del factor de emisiones del SEN, acercándolo a la compatibilidad con el presupuesto de 1.5° C.

En este sentido, la capacidad instalada de energías limpias de la CFE supone un 48% del total; sin embargo, la energía hidroeléctrica y nuclear no han aumentado su capacidad desde 2018, siendo sólo la energía geotermoeléctrica la que tuvo un aumento del 6% en 2020 (Secretaría de Energía [Sener], 2021a). Además, en los últimos tres años la capacidad instalada de la energía eoloelectrica y la solar fotovoltaica han crecido entre 2018 y 2021 en 82 y 283%, respectivamente, casi en su totalidad a través de los generadores privados (Sener, 2021b, 2021a). Como resultado, al 30 de abril de 2021 el 91 y 99% de la capacidad instalada de las energías eoloelectrica y fotovoltaica pertenecían a los generadores privados, respectivamente (Sener, 2021a). De mantenerse esa tendencia lineal, la energía solar alcanzaría los 32,600 MW de la mezcla energética propuesta en 2035, y la energía eoloelectrica alcanzaría los 30,000 MW en 2037. Por su parte, la iniciativa de reforma eléctrica propone que la CFE tome el control de la transición energética, modernizando los equipos generadores de las hidroeléctricas y construyendo una planta fotovoltaica en Sonora (Iniciativa de Decreto por el que se reforman los artículos 25, 27 y 28 de la Constitución Política de Los Estados Unidos Mexicanos, 2021). Sin embargo, es claro que estas acciones serían insuficientes para reducir el factor de emisiones en compatibilidad con la meta de temperatura de 1.5° C (figura 4).

Otro argumento no menos importante de la iniciativa de forma eléctrica es la crítica al carácter intermitente de las energías renovables, que producen picos de energía durante las horas de más sol y viento, los cuales de ser introducidos completamente al SEN podrían provocar su colapso (Cámara de Diputados, 2021). Desde la perspectiva de esta investigación, la intermitencia se podría mitigar con una mezcla energética como la de la tabla 4. En esta propuesta, una tercera parte de la electricidad sería proporcionada por sistemas fotovoltaicos respaldados con baterías de litio que permiten almacenar los picos de energía para utilizarse cuando no hay luz solar. La segunda tercera parte proporcionada por la energía eoloelectrica podría ser compensada con

generación de respaldo mediante la energía hidroeléctrica, nucleoelectrica y gas natural. Además, este problema ha sido resuelto efectivamente por otros países mediante mercados de compra venta eléctrica intradía (Karanfil y Li, 2017), así como con la puesta en operación de diversos mecanismos de almacenamiento eléctrico diferentes a las baterías, como el aire comprimido, condensadores, sistemas magnéticos, ruedas de inercia e hidrobombeo, entre otros (Akinyele y Rayudu, 2014).

De todas estas opciones la que tiene el mayor potencial para mitigar el problema de la intermitencia de las energías renovables son las centrales de hidrobombeo. Estos sistemas pueden ser de circuitos abiertos y cerrados: los sistemas de circuito abierto se ubican de forma paralela a un río del cual se bombea agua a una presa más alta, utilizando los picos de las energías eoloeléctrica o solar fotovoltaica, permitiendo liberar el agua a través de una turbina para generar electricidad cuando no hay luz solar o viento; por su parte, los sistemas de circuito cerrado no necesitan estar junto a un río, y constan de dos depósitos de agua situados a diferentes alturas, pero cumplen la misma función (Hunt et al., 2020; Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2020).

El potencial estimado anual de almacenamiento global de las centrales de hidrobombeo de circuitos abiertos es de 17'325,000 MWh, mientras que los de circuitos cerrados asciende hasta los 23,000'000,000 MWh, lo que equivale respectivamente a 79% y más de 10,000 veces la energía eléctrica consumida en el planeta durante todo el año 2017 (Hunt et al., 2020; INECC, 2020). Cabe mencionar que la anterior administración federal de la CFE ya identificó algunos sitios factibles para construir este tipo de sistemas, y que en 2015 junto con la Sener se acercaron al Banco Mundial para desarrollar un taller en la Ciudad de México, en el cual expertos de Alemania, Estados Unidos, Chile, España y Japón compartieron sus experiencias sobre esta tecnología, así como las condiciones económicas y regulatorias que han permitido la expansión de estos sistemas de almacenamiento energético en sus países (Ener-

gy Sector Management Assistance Program [ESMAP], 2015). En este sentido, el INECC (2020) ha identificado en México y Centroamérica más de 272,000 sitios donde se podrían instalar centrales de hidrobombeo de circuito cerrado con un potencial de almacenamiento de 4,200'000,000 MWh, es decir, más de 45,000 veces la capacidad instalada del SEN en 2021 (Sener, 2021b). Además, el INECC (2020) también prevé que la infraestructura actual de presas y centrales hidroeléctricas podría ser actualizada para convertirse en sistemas de centrales de hidrobombeo, sobre todo las que tienen una disposición en cascada, como los ríos San Juan, Tula y Grijalba.

Como se puede apreciar, este tipo de sistemas de almacenamiento energético tiene el potencial de solucionar el problema de la intermitencia de las energías eoloeléctrica y solar fotovoltaica denunciado en la iniciativa de reforma eléctrica, y más aún, es compatible con el discurso federal de renovación de las centrales de energía hidroeléctrica. La iniciativa de reforma eléctrica en su apartado de transición energética menciona que se ha instruido a la CFE a renovar el equipo y maquinaria de 10 centrales hidroeléctricas, y además el mismo presidente Andrés Manuel López Obrador ha mencionado en reuniones bilaterales con Estados Unidos que su gobierno cumplirá las metas de reducción de emisiones modernizando las centrales hidroeléctricas para aumentar la producción de energía eléctrica (Carrillo, 2021; Cámara de Diputados, 2021).

En este sentido, la discusión sobre cualquier propuesta de mejora del SEN debería incluir de forma urgente la proyección del factor de emisión de emisiones en compatibilidad con el objetivo de temperatura de 1.5° C mediante un plan detallado de reemplazo de las centrales de generación eléctrica convencionales por las de energía limpias necesarias, así como la implementación de medios de almacenamiento de energía para mitigar el problema de la intermitencia. De igual forma, dadas las denuncias realizadas en la iniciativa de reforma eléctrica sobre el mecanismo de pago que afecta al erario, la reforma del mercado eléctrico debería considerar la confor-

mación de un mercado que no dañe las finanzas públicas, pero que a la vez impulse la generación con energías limpias y la utilización de dispositivos de almacenamiento.

Finalmente, también es necesario destacar que independientemente de las decisiones que se tomen a nivel gubernamental federal, desde el ámbito residencial se puede contribuir con un consumo energético residencial compatible con el objetivo de temperatura de 1.5° C. Esto se lograría generando in-situ la electricidad mediante sistemas fotovoltaicos con almacenamiento en baterías de litio, para evitar contribuir al problema de la intermitencia. Como se explica en la tabla 4, este sistema de generación tiene un factor de emisiones de 0.088 tCO<sub>2</sub>e/MWh (Krebs et al., 2020), el cual es incluso menor que el de la mezcla energética propuesta. Para esto, también sería necesario reemplazar los dispositivos de GLP con sistemas eléctricos y solares térmicos. En tal sentido, los gobiernos locales pueden contribuir emitiendo reglamentos locales que obliguen a no instalar dispositivos de GLP o gas seco en las viviendas nuevas para poder otorgar las licencias de habitabilidad, como ya se hace en diversas ciudades de Estados Unidos y en Ecuador (Davis, 2021; Gould et al., 2018). Adicionalmente, valdría la pena analizar si mediante estos reglamentos se pudiera obligar a las viviendas nuevas en áreas residenciales de alto poder adquisitivo a instalar sistemas fotovoltaicos con baterías de litio. Por último, considerando que el 72% de los subsidios eléctricos otorgados por la CFE corresponden al sector residencial (Márquez de la Cruz et al., 2016), una forma de incrementar rápidamente la electrificación residencial y la capacidad instalada de los sistemas fotovoltaicos con baterías podría ser el financiamiento de éstos a través del cobro del servicio eléctrico. De esta manera se podría aumentar el acceso a la energía de los hogares más alejados de los proveedores energéticos, el gasto público que actualmente se destina al subsidio se convertiría en una inversión a mediano plazo para la CFE, y al mismo tiempo se reducirían las emisiones del consumo eléctrico residencial a niveles compatibles con 1.5° C.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akenji, L., Lettenmeier, M., Toivio, V., Koide, R., y Amellina, A. (2019). 1.5-Degree Lifestyles: Targets and Options for Reducing Lifestyle Carbon Footprints. Technical Report. Institute for Global Environmental Strategies. <https://www.iges.or.jp/en/pub/15-degrees-lifestyles-2019/en>
- Akinyele, D. O., y Rayudu, R. K. (2014). Review of energy storage technologies for sustainable power networks. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, núm. 8, pp. 74-91. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2014.07.004>
- Berrueta, V. (2007). Evaluación energética del desempeño de dispositivos para la cocción con leña. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de México. <https://ru.dgb.unam.mx/handle/dgbunam/teso1000627381>
- Bieker, G. (2021, julio). A global comparison of the life-cycle greenhouse gas emissions of combustion engine and electric passenger cars. <https://theicct.org/publications/global-LCA-passenger-cars-jul2021>
- Bustamante, O., y Rampone, G. (2013). Huella de carbono del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Oficina Española de Cambio Climático. [https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones/documentos-de-interes/huella\\_carbono\\_2012\\_tcm30-178331.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones/documentos-de-interes/huella_carbono_2012_tcm30-178331.pdf)
- Cámara de Diputados. (2021). Iniciativa de Decreto por el que se reforman los artículos 25, 27 y 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. <http://gaceta.diputados.gob.mx/pdf/65/2021/oct/20211001-I.pdf#page=2>
- Carrillo, E. (2021). Cumpliremos metas de energías limpias con hidroeléctricas, dice AMLO ante John Kerry. *Forbes*. <https://www.forbes.com.mx/politica-cumpliremos-metas-de-energias-limpias-con-hidroelectricas-amlo/>
- Cruz, I. (2016). Emisiones de CO<sub>2</sub> en hogares urbanos. El caso del Distrito Federal. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 31(1): 115-142. <https://doi.org/10.24201/edu.v31i1.1505>
- Davis, L. (2021). What Matters for Electrification? Evidence from 70 Years of U. S. Home Heating Choices. *NBER*. <https://doi.org/10.3386/w28324>
- Energy Sector Management Assistance Program. (2015). Mexico's Power Sector Transition: Pumped Storage Hydropower to Facilitate Re-

- newable Energy Integration. <https://esmap.org/node/71023>
- Gould, C. F., Schlesinger, S., Toasa, A. O., Thurber, M., Waters, W. F., Graham, J. P., y Jack, D. W. (2018). Government policy, clean fuel access, and persistent fuel stacking in Ecuador. *Energy for Sustainable Development*, núm. 46, pp. 111-122. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.05.009>
- Grubler, A., Wilson, C., Bento, N., Boza-Kiss, B., Krey, V., McCollum, D. L., Rao, N. D., Riahi, K., Rogelj, J., De Stercke, S., Cullen, J., Frank, S., Fricko, O., Guo, F., Gidden, M., Havlík, P., Huppmann, D., Kiesewetter, G., Rafaj, P., ... y Valin, H. (2018a). A low energy demand scenario for meeting the 1.5° C target and sustainable development goals without negative emission technologies. *Nature Energy*, 3(6): 515-527. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0172-6>
- . (2018b). A low energy demand scenario for meeting the 1.5° C target and sustainable development goals without negative emission technologies. *Nature Energy*, 3(6): 515-527. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0172-6>
- Gutiérrez-Meave, R., Rosellón, J., y Sarmiento, L. (2021). The effect of changing marginal-cost to physical-order dispatch in the power sector. *Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW)* <http://hdl.handle.net/10419/235763>
- Hernández-Garduño, E., Gómez-García, E., y Campos-Gómez, S. (2017). Prevalence trends of wood use as the main cooking fuel in Mexico, 1990-2013. *Salud Pública de México*, 59(1): 68. <https://doi.org/10.21149/7770>
- Hunt, J. D., Byers, E., Wada, Y., Parkinson, S., Gernaat, D. E. H. J., Langan, S., van Vuuren, D. P., y Riahi, K. (2020). Global resource potential of seasonal pumped hydropower storage for energy and water storage. *Nature Communications*, 11(1): 947. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14555-y>
- Huppmann, D., Kriegler, E., Krey, V., Riahi, K., Rogelj, J., Calvin, K., Humpenoeder, F., Popp, A., Rose, S. K., Weyant, J., Bauer, N., Bertram, C., Bosetti, V., Doelman, J., Drouet, L., Emmerling, J., Frank, S., Fujimori, S., Gernaat, D., ... y Zhang, R. (2019, agosto 8). IAMC 1.5° C Scenario Explorer and Data hosted by IIASA (Version release 2.0) [Data set]. Integrated Assessment Modeling Consortium/International Institute for Applied Systems Analysis. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3363345>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2014). Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/cgcc-dbc\\_2014\\_fe\\_tipos\\_combustibles\\_fosiles.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/cgcc-dbc_2014_fe_tipos_combustibles_fosiles.pdf)
- . (2020). Potential of storage technologies in Mexico. [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/potential\\_of\\_storage\\_technologies\\_in\\_mexico.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/potential_of_storage_technologies_in_mexico.pdf)
- Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara. (s/f). Plan de Acción Climática del Área Metropolitana de Guadalajara. <https://drive.google.com/file/d/1f-tegzzaa-lthdq8cjwn62wdahstazpp6/view>
- Ivanova, D., Stadler, K., Steen-Olsen, K., Wood, R., Vita, G., Tukker, A., y Hertwich, E. G. (2016). Environmental Impact Assessment of Household Consumption. *Journal of Industrial Ecology*, 20(3): 526-536. <https://doi.org/10.1111/jiec.12371>
- Karanfil, F., y Li, Y. (2017). The Role of Continuous Intraday Electricity Markets: The Integration of Large-Share Wind Power Generation in Denmark. *The Energy Journal*, 38(2): 107-130. <https://doi.org/10.5547/01956574.38.2.fkar>
- Kaytez, F., Taplamacioglu, M. C., Cam, E., y Hardalac, F. (2015). Forecasting electricity consumption: A comparison of regression analysis, neural networks and least squares support vector machines. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, núm. 67, pp. 431-438. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.12.036>
- Krebs, L., Frischknecht, R., y Stolz, P. (2020). Environmental Life Cycle Assessment of Residential PV and Battery Storage Systems 2020 PVPS Task 12 PV Sustainability. [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/07/iea\\_pvps\\_task12\\_lca\\_pvandstorage.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/07/iea_pvps_task12_lca_pvandstorage.pdf)
- Lagunes Díaz, E., González Ávila, M. E., y Ortega Rubio, A. (2015). Transición de leña a gas licuado a presión (GLP) en el sur de México, oportunidad para la mitigación del cambio climático en la región menos desarrollada del país. *Acta Universitaria*, 25(6): 30-42. <https://doi.org/10.15174/au.2015.853>
- Lenton, T. M., Rockström, J., Gaffney, O., Rahmstorf, S., Richardson, K., Steffen, W., y Schellhuber, H. J. (2019). Climate tipping points — too

- risky to bet against. *Nature*, 575(7784): 592-595. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-03595-0>
- Márquez de la Cruz, G., Andrade Vallejo, M. A., y Peña Cruz, M. D. P. (2016). Reforma energética en México: Los subsidios eléctricos y su impacto en las finanzas públicas. *Oikos*, 19(40): 151. <http://ediciones.ucsh.cl/index.php/Oikos/article/view/977>
- Matson, W. (1983). Kerosene Space Heaters, octubre. <https://ir.library.oregonstate.edu/downloads/ht24wk03r>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (2015). Acuerdo de París Naciones Unidas 2015. [https://unfccc.int/files/essential\\_background/convention/application/pdf/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/spanish_paris_agreement.pdf)
- . (2019). World Population Prospects 2019. (Online Edition. Rev. 1). <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>
- Secretaría de Energía. (2020). Balance nacional de energía: Principales indicadores energéticos y de hidrocarburos. <https://www.datos.gob.mx/busca/dataset/balance-nacional-de-energia-principales-indicadores-energeticos-y-de-hidrocarburos>
- . (2021a). Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2021-2035. <https://www.gob.mx/sener/articulos/programa-para-el-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional>
- . (2021b). Sistema de Información Energética. [https://sie.energia.gob.mx/bdcontroller.do?action=cuadro&cveca=dips\\_se\\_c33\\_esp](https://sie.energia.gob.mx/bdcontroller.do?action=cuadro&cveca=dips_se_c33_esp)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2021). Registro Nacional de Emisiones. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/registro-nacional-de-emisiones-rene>
- Sheather, J. (2021). The conflicts that killed COP26. *BMJ*, núm. 2798. <https://doi.org/10.1136/bmj.n2798>
- Smil, V. (2016). Examining energy transitions: A dozen insights based on performance. *Energy Research & Social Science*, núm. 22, pp. 194-197. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.08.017>
- Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T. M., Folke, C., Liverman, D., Summerhayes, C. P., Barnosky, A. D., Cornell, S. E., Crucifix, M., Donges, J. F., Fetzer, I., Lade, S. J., Scheffer, M., Winkelmann, R., y Schellnhuber, H. J. (2018). Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(33): 8252-8259. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>
- The Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, y H. L. Miller (eds.)). Cambridge United Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>
- . (2018). Global Warming of 1.5° C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5° C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- Tiandho, Y., Indriawati, A., Putri, A. K., y Afriani, F. (2021). Induction stoves: An option for clean and efficient cooking in Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1034(1): 012068. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1034/1/012068>
- Vita, G. (2019). Energía y carbono en el consumo de los hogares mexicanos: Una perspectiva integrada del metabolismo socioeconómico y necesidades humanas fundamentales. En: W. Tijerina, G. Vita, y J. Berlanga (eds.), *Perspectivas globales para la transición energética de México* (pp. 67-76). UANL-Fondo Editorial de Nuevo León. <https://ssrn.com/abstract=3497822>
- Xu, C., Kohler, T. A., Lenton, T. M., Svenning, J.-C., y Scheffer, M. (2020). Future of the human climate niche. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(21): 11350-11355. <https://doi.org/10.1073/pnas.1910114117>

# Hábitat, territorio y tejido social en la región nororiente de la cuenca de México: el caso del espacio público de Atenco

## *Habitat, territory and social fabric in the northeast region of the Mexico basin: the case of the public space of Atenco*

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i12.209>

**SELENNE GALEANA CRUZ**

Universidad Nacional Autónoma de México / ORCID: 0000-0001-7622-552X

Correo electrónico: [sellenne.galeanacruz@fa.unam.mx](mailto:sellenne.galeanacruz@fa.unam.mx)

Recepción: 06 de octubre de 2021. Aceptación: 16 de marzo de 2022.

### RESUMEN

El fin de esta investigación es comprender la manera en que el espacio público local coadyuva a impulsar las actividades y las relaciones sociales que otorgan sentido de pertenencia e identidad al hábitat, para deducir elementos que puedan utilizarse para la elaboración de estrategias que permitan el restablecimiento del tejido social en Atenco. Se sustenta en tres dimensiones de análisis, como: la espacial funcional, la sociocultural y la dimensión económica que se retoma como referente transversal. Se utiliza la metodología basada en la producción horizontal de conocimiento (phc) bajo los diálogos de saberes y la ejecución de entrevistas abiertas a las voces de la vida cotidiana no escuchadas. En síntesis, los resultados arrojan que los elementos son: el impulso de la participación comunitaria, la integración sostenible de los diversos usos de suelo, tomar en cuenta las voces de la vida cotidiana que generalmente no son escuchadas, resignificar el espacio público a través de su connotación como ámbito de representación de la comunidad y no sólo como equipamiento en términos cuantitativos, reivindicar los campos de cultivo como lugares de encuentro y convivencia alternativa y prioritaria. Se concluye que el espacio público que otorga sentido de pertenencia e identidad

al hábitat en la zona de estudio se construye a partir de actividades y relaciones sociales que caracterizan tanto al ámbito rural como al urbano, pues la resistencia se ha definido a través de las costumbres y rituales de la vida cotidiana en el espacio público, constituyéndose como la dimensión política de la vida social.

Palabras clave: identidad, espacio social, relaciones sociales, vida cotidiana.

### ABSTRACT

The purpose of this research is to understand how the local public space contributes to promoting activities and social relations that give a sense of belonging and identity to the habitat, to deduce elements that might be used to create strategies, to allow and restore the social fabric in Atenco. Explains three dimensions of analysis, such as: the functional spatial, the socio-cultural and the economic dimension, that is retaken as a transversal note. We worked on a horizontal based-methodology under the dialogues of knowledge and developed open-ended interviews to the voices of everyday life not heard. In summary, the results show that those elements are: promotion of community participation, sustainable integration of the various land uses, taking into

account the voices of daily life that are generally not heard, signifying the public space through its connotation as an area of representation of the community and not only as equipment in quantitative terms, to vindicate the fields of cultivation as meeting points and alternative and priority coexistence. We concluded that the public space that gives a sense of belonging and identity to the habitat in the study area is built up from activities and social relations that characterize both the rural and urban areas, since resistance is defined through customs, and rituals of daily life in public space, becoming the political dimension of social life.

Keywords: identity, social space, social relations, daily life.

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta investigación es identificar la manera en que se construye el espacio público que otorga sentido de pertenencia e identidad al hábitat; por ende, deducir elementos que puedan utilizarse para la elaboración de estrategias que a través de la función del mismo permitan el restablecimiento del tejido social ante los procesos que han impulsado la fragmentación social, espacial, territorial y comunitaria, en particular en el municipio de Atenco. Tales procesos forman parte de la inserción del neoliberalismo en la política urbana, a través de modificaciones importantes al marco legislativo, programático e institucional en la década de los noventa, a lo que se suman las características del empresarialismo urbano en la gestión municipal (Salinas, 2016). De manera que se identifica una limitada o nula coordinación metropolitana, así como la falta de visión social entre los gobiernos locales ante la expansión urbana (Salinas, 2016; Zicardi, 2015).

El territorio de referencia responde a diversos procesos de ocupación desde su origen, se caracteriza por estar ligado tanto al significado histórico y político heredado de la diversidad cultural, étnica y lingüística (Medina, 2007: 15), procedente de una tradición mesoamericana

que aún conservan y reproducen algunos pueblos originarios, como a los procesos globalizadores que han tenido impacto en la expansión urbana. La reestructuración del territorio por parte del Estado mexicano, en acuerdo con las iniciativas transnacionales,<sup>1</sup> se ha consumado con la implementación de megaproyectos sobre demarcaciones cuya identidad histórica y social se encuentra arraigada a las tierras de cultivo, las tradiciones y las festividades locales, lo cual ha inducido a la ruptura socioespacial. Es el caso del gran proyecto urbano del ex Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (NAICM) localizado en la zona federal del Lago de Texcoco (ZFLT), Estado de México: su planeación y construcción trajo consigo decisiones que violaron los derechos humanos de los pobladores, cuyas tierras fueron expropiadas sin su consentimiento. La justificación de su implementación fue que el actual Aeropuerto Internacional Benito Juárez había rebasado sus límites de servicio ante el flujo exacerbado por el intercambio global.

Tal panorama amerita la reflexión acerca del papel que ha tenido la política neoliberal en la inserción de un megaproyecto, en contexto del proceso de expansión urbana y los efectos en la fragmentación socioespacial en la zona de estudio. En primer lugar, el municipio de Atenco, localizado en la región nororiente de la cuenca de México, ha sufrido los efectos de las transformaciones como es el cambio de uso suelo de ejidal a dominio pleno, para facilitar su compra a un costo depreciado y posteriormente construir el NAICM. A saber, en 1992 se modificó el artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPM-1917): las tierras ejidales y comunales se incorporaron al mercado legal de suelo urbano que sólo llevaron a facilitar concesiones dirigidas a privatizarlo (Puebla, 2002). Con ello, en el año 2000 surgió el Código Administrativo del Estado de México (CAEM) y su libro Quinto que permite los cambios de uso de suelo a beneficio del orden estatal, así como la modifi-

1. El Estado mexicano que impulsó la política neoliberal correspondiente a los años noventa hasta mediados de 2018.

cación de los planes de desarrollo urbano sin un diagnóstico integral e incorporando a la tierra de producción agrícola para uso urbano, lo cual generó conflictos en relación con la propiedad de la tierra ejidal.

Cabe mencionar que el 22 de octubre de 2001, el Gobierno federal publicó en el Diario Oficial de la Federación 19 Decretos expropiatorios de tierras en tres jurisdicciones con el fin de construir el NAICM, se trataba de 13 núcleos ejidales: en Texcoco los ejidos de Cuautlalpan, San Bernardino, Boyeros, Huexotla, San Felipe, Santa Cruz, Tocuila y Magdalena Panoaya; en Chimalhuacán, jurisdicción del mismo nombre; y en Atenco con los ejidos de Francisco I. Madero, Santa Isabel Ixtapan, Nexquipayac, San Francisco Acuexcomac y San Salvador Atenco.

La superficie total expropiada “fue de 5’390,760 hectáreas y 171 viviendas que deberían ser reubicadas” (Castañeda y Castellanos, 2016: 429), ofrecían a los ejidatarios por cada metro cuadrado sólo \$7.20 pesos por parcelas de temporal y \$25 pesos por parcelas de riego, acción que afectaba el patrimonio de 4,375 familias (Quintana, 2019), sobre todo representaba entregar parte de la identidad histórica y legado de varios siglos. Los agravios fueron múltiples y sistemáticos, se emitió un Decreto sin reconocer el derecho de consulta a los pueblos (Castañeda y Castellanos, 2016: 435), es decir, sus derechos humanos fueron transgredidos al arrebatar parte del hábitat. Los afectados rechazaron el decreto y la edificación del NAICM sobre sus tierras, reiteraron que sus tierras no estaban en venta y las acciones en defensa de la tierra aumentaron, por lo que el 01 de agosto de 2002 se anunció la derogación del Decreto Expropiatorio y la cancelación del proyecto señalado.

El Gobierno federal continuaba con el plan de construir el NAICM y optó por la adquisición de parcelas y terrenos ejidales, en mayor medida en Atenco, “con otra oferta de precio que supera en promedio más de 10 veces el precio original a través de la Conagua, con la idea de ampliar la Zona Federal del Lago de Texcoco y generar un proyecto ecológico de mayor dimensión y magnitud” (Moreno, 2018: 215). De acuerdo con testimo-

nios de los habitantes entrevistados de Atenco, la estrategia consistió en adquirir las tierras a través de asambleas ilegales para cambiar el uso de suelo de las tierras, pasándolas de uso ejidal o comunal, a dominio pleno. Además, las condiciones de pobreza de la población facilitaron la compra de voluntades y memoria histórica de los pueblos, situación que desde entonces ha ocasionado el enfrentamiento entre los mismos coterráneos, rompiendo el tejido social (Del Valle, 2018). Por consiguiente, en 2015 empezó la construcción del megaproyecto, que aumentó el conflicto social por el territorio.

En diciembre de 2018, con la política de bienestar implementada por un nuevo Gobierno denominado Cuarta Transformación que asumió la Presidencia en el mismo año, se llevó a cabo la consulta ciudadana respecto a la continuación de la construcción del NAICM. Los resultados publicados arrojaron que 70% de poco más de un millón de votantes optaron por cancelar el megaproyecto, que consideraba una superficie de 4,430 hectáreas (ha) (Moreno, 2017) enmarcada en la zona federal del Lago de Texcoco (ZFLT) con una extensión de 12,363.0 ha, de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2015). En consecuencia, se formaliza la cancelación y se pronuncia la necesidad de hacer justicia social a través de la restitución de las tierras que fueron arrebatadas a los pueblos, revertir el daño ambiental y sobre todo regenerar el tejido social quebrantado por decisiones unilaterales: el Gobierno de México propone la ejecución del Parque Ecológico Lago de Texcoco (PELT) que fue presentado el 25 de agosto de 2020 bajo el cargo de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) y la Comisión Nacional del Agua (Conagua).

De acuerdo con el “Estudio de necesidades de infraestructura deportiva y cultural en los municipios perimetrales al PELT”, la propuesta se fundamenta en una metodología cuantitativa para la estimación de la oferta y la demanda en situación actual y futura. Incluye una encuesta a los usuarios de las instalaciones deportivas y culturales, sobre todo en la zona de influencia que involucra dos alcaldías de la Ciudad de México

(Gustavo A. Madero y Venustiano Carranza) y seis municipios (Acolman, Ecatepec, Chimalhuacán, Texcoco y Nezahualcóyotl) (MIA, 2021: 3-6); asimismo, la consulta de fuentes oficiales.<sup>2</sup> Como se muestra, en la encuesta se omitió el municipio de Atenco al considerar en tal estudio que carece de infraestructura deportiva, cultural y recreativa, por ello en esta investigación se propone conocer cómo sus habitantes hacen uso y se apropian del territorio a partir de las diversas prácticas sociales que construyen el sentido de pertenencia e identidad del hábitat, y con ello generar insumos que coadyuven a su integración de manera paralela al proyecto.

Como se ha expuesto, los antecedentes denotan una condición social y espacial desarticulada: los diversos actores que convergen configuran un matiz de sujetos individuales, sujetos colectivos públicos y sujetos privados poco interconectados con las expectativas, las fortalezas sociales y las condicionantes físicas ambientales prevalecientes en Atenco, que forman parte del hábitat cotidiano y construyen su identidad, cuyas consecuencias adversas recaen directamente en el proceso de habitar en el ámbito de lo público que refiere a las prácticas sociales (acciones y relaciones).

En tal panorama, se plantean las preguntas siguientes: ¿de qué manera el espacio público local coadyuva a impulsar las actividades y las relaciones sociales para otorgar sentido de pertenencia e identidad al hábitat? ¿Cuáles han sido las implicaciones de la función de la vida cotidiana en conjunto con los elementos del medio ambiente en la apropiación y uso del hábitat?

## ALGUNAS REFLEXIONES TEÓRICAS

### HÁBITAT, ESPACIO PÚBLICO Y TERRITORIO

El hábitat humano cuya acción refiere al habitar, comprende aspectos físico-ambientales, sociales,

culturales, funcionales, políticos, administrativos, principalmente, e involucra diversidad de actores con múltiples intereses que participan en la apropiación del espacio (Liceda, 2019). El espacio por sí mismo existe, no requiere de límites concretos y rígidos, es el ser humano quien se lo apropia y transforma, le asigna un carácter social, reflejando la complejidad física, mental y social del habitar (Lefebvre, 1991: 21). Al habitar se territorializa un lugar a través de las prácticas sociales que refieren a las acciones y relaciones que producen hábitos cotidianos y determinan el sentido de pertenencia y la apropiación (Miranda, 2019), aunque “no todo territorio cobra el sentido de un hábitat” (Echeverría, 2011: 3), en cualquier caso, hábitat y territorio están correlacionados de manera dialéctica.

El territorio que cobra el sentido de un hábitat “connota apropiación, dominación, defensa, pertenencia e identidad sobre un espacio, con límites claros y concretos; hace referencia a la posesión y al control y apropiación” (Fernández y De la Vega, 2017: 2), interfieren la historia, la cultura, el medio ambiente natural y construido, y comprende “las pautas sobre las que se ha establecido dicho control y apropiación por parte de grupos sociales que le han otorgado un sentido jurisdiccional, de pertenencia y, sobre todo, de cambio o transformación a lo largo del tiempo” (Fernández y De la Vega, 2017: 2). En particular, la apropiación remite a reordenar el espacio a partir de relaciones de poder y códigos-normas-contratos que de alguna manera están influenciados por el Estado (Liceda, 2019).

El territorio establece “un sistema complejo en el que interactúan las diferentes dimensiones de la vida social” (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2011: 14). De esta manera, la dimensión política de la vida social incide en las actividades y relaciones cotidianas que se visibilizan en lo público material y de representación. Al respecto, Hanna Arendt (citada por Rabotnikof, 2011: 265), menciona que “el espacio público es político, pero desde la sede de una de las caras de la política —la que tiene que ver con compartir el mundo, actuar en concierto y fundar una comunidad—”, caracteriza el otro

2. El Inventario de Infraestructura Deportiva Registrada en México (IIDRM). Comisión Nacional de Cultura Física y Deporte, 2015; el Módulo de Práctica Deportiva y Ejercicio Físico. INEGI, 2013; la Encuesta Intercensal INEGI, 2015, que actualiza la información sociodemográfica del Censo de 2010; y la Encuesta de Origen Destino en Hogares de la ZMVM. INEGI/CDMX/Edomex/UNAM, 2017.

poder “a verdaderas sociedades políticas que, a través del acuerdo de la acción, generan poder y reivindican derechos sin pretensión de soberanía”, como es el caso de las organizaciones con base comunitaria.

De esta manera, el espacio público del territorio es el escenario donde se construye la vida social en las diversas dimensiones y aspectos del hábitat, en un actuar comunitario a través de prácticas sociales que expresan tanto las diversidades de apropiación y uso como las contradicciones y las disputas, “donde se construye la memoria colectiva y se manifiestan las identidades múltiples [...] que relacionan a las personas [...] y su decadencia pone en cuestión la posibilidad de ejercer el derecho a la ciudad” (Borja, 2014: 340). Como espacio percibido, vivido y concebido subraya su carácter de espacio social (vida social) (Lefebvre, 1974) que coadyuva a construir el tejido social, el cual es entendido como aquel que se fortalece a través de las prácticas, las experiencias vividas y construidas al fomentar la convivencia por medio de formas solidarias y de apoyo, que retroalimentan las relaciones humanas y afianzan el vivir en comunidad (Téllez, 2010). Así, los espacios de convivencia son el sustento de las relaciones y actividades sociales que nutren y generan la vida comunitaria, soportan la cotidianeidad y aseguran la pertenencia y la identidad (Ferreti y Arreola, 2012). De acuerdo con Maffesoli (1998), la identidad significa que un individuo es parte de un grupo con características específicas y concretas, la cual se expresa en la vida cotidiana a través de las diversas formas de apropiación y uso del espacio público.

En tal contexto, las transformaciones derivadas del capitalismo neoliberal han originado una limitada integración socioespacial entre la dinámica local y global con la implementación de políticas de carácter mercantil materializadas en megaproyectos, cuyo efecto ha sido la fragmentación urbana (territorio), que de acuerdo con Vidal (1997: 5) significa la “tendencia de la estructura de la ciudad [o del territorio] hacia una pérdida de la coherencia y cohesión del todo a causa de una disociación de las partes que la componen”, lo cual implica también el deterioro

del tejido social. Por tanto, el territorio fragmentado se encuentra regido por el principio de exclusión y la reducción de la existencia de lugares de encuentro universal (Kozak, 2011) que condicionan la sociabilidad.

El problema de la fragmentación socioespacial amerita el estudio de los factores cualitativos, a través de categorías de análisis para abordar el tejido social, esto es, lo comunitario. Este último es imprescindible para entender los efectos sobre el territorio en su carácter de espacio social y físico, que en cierto modo se encuentra entre lo rural y lo urbano de la zona estudiada, por ello, se aborda bajo dinámicas de la vida cotidiana del sujeto social de acuerdo con los enfoques que se exponen a continuación.

#### ENTRE LO RURAL Y LO URBANO

Desde el enfoque espacial funcional, lo rural (campo) en la periferia se entiende como aquel que cuenta con elementos difusos de lo urbano que en parte son necesarios para el funcionamiento de la ciudad, esto es, se trata de un ámbito de transición gradual. Según la cual ambos espacios reciben y aportan elementos que construyen una dinámica metropolitana, por lo que existe una constante readecuación del territorio en formas híbridas que conjugan características tanto rurales como urbanas (Ávila, 2011; Ramírez, 2003). Por lo anterior, se alude al espacio periurbano y los espacios limítrofes considerados como un territorio de “interfase entre dos tipos geográficos aparentemente oposicionales y bien diferenciados, el campo y la ciudad” (Barsky, 2013: 28), cuya delimitación es compleja y cambiante, con una gran diversidad de usos del suelo en gradientes difusos de lo urbano hacia zonas rurales contiguas (Obeso-Muñiz, 2019). En cuanto al análisis espacial funcional, se remite a la investigación realizada por Ferreti y Arreola (2012) acerca de las propiedades morfológicas y funcionales del tejido urbano en relación con el tejido social, partiendo de tres elementos: confluencia, flexibilidad y superposición de funciones; la compatibilidad espacial y representativa; y la legibilidad de los itinerarios y los elementos significativos. Además, toma en cuenta aspectos de tipo morfo-

lógico para conocer la complejidad de relaciones y su lectura en la realidad construida y propone cinco categorías para la comprensión del tejido urbano-rural; así, en la presente investigación se retoma lo que concierne a la categoría permeabilidad, considerada “muy habitual en los tejidos abiertos”, que en términos operativos refiere a la accesibilidad en lo que respecta a la distancia, el tiempo y el costo para el desplazamiento en cuanto a las posibilidades de relación física y social. Se suman los espacios de cultura, deporte y esparcimiento que conforman la base utilitaria desde el punto de vista objetivo del espacio de convivencia bajo la perspectiva institucional.

Desde el enfoque sociocultural (Lezama, 2002: 3), “lo rural se asocia con la conservación y desarrollo de valores que tienen como base el bienestar de la comunidad, la religión y la homogeneidad de sus habitantes, entre otras características”, o sea, reivindica las prácticas socioculturales en razón al sentido de pertenencia y la identidad vinculados a la vida cotidiana, las costumbres y festividades locales. Un estudio realizado por Giménez (2005: 17-19) aborda la relación entre lo sociocultural y lo territorial en Valle de Atlixco, Puebla, el cual confiere sentido al entorno para construir la identidad colectiva y para analizarla propone dos estados o modos de existencia de la cultura, vinculados con el sentimiento de pertenencia socioterritorial: el “estado objetivado como objetos, instituciones y prácticas directamente observables; y el estado “subjetivado” o internalizado que remite a las representaciones sociales y habitus” (p. 17) que sirven como referente de percepción de la realidad y como guías de orientación para la acción. Por una parte, el aspecto objetivado de la cultura distingue dos casos: el primero “comprendería tanto los geo símbolos y los bienes ambientales, como los paisajes rurales, urbanos y pueblerinos, las peculiaridades del hábitat, los monumentos, la red de caminos y brechas, los canales de riego y, en general, cualquier elemento de la naturaleza antropizada” (p. 17); la segunda se refiere “al área de distribución de instituciones y prácticas culturales específicas y distintivas como el com-

portamiento, los trajes regionales, las fiestas del ciclo anual y los rituales específicos del ciclo de la vida, las danzas lugareñas, la cocina regional, las formas lingüísticas” (p. 17), entre otros. Por otro lado, el aspecto subjetivado o las formas internalizadas de la cultura refieren al territorio apropiado como objeto de representación y de apego afectivo y, sobre todo, como símbolo de identidad socioterritorial. Así, para el desarrollo de la dimensión sociocultural se retoman los aspectos objetivado y subjetivado, debido a que reivindica las prácticas, las experiencias vividas y construidas vinculadas a la construcción del tejido social en el territorio que permite entender la connotación de las prácticas socioculturales.

Desde la perspectiva económica, Echeverría (2013: 39 y 40) menciona que la causa de la distinción entre lo rural y lo urbano radica en que el hombre adjudica a determinadas zonas de su territorio el predominio del tiempo rutinario y a otras el predominio del tiempo extraordinario. La temporalidad rutinaria reproduce fielmente una identidad establecida, remite a lo que las personas repiten de su socialidad, es decir, a las acciones y relaciones que significan su modo de vida de acuerdo con códigos propios, “allí donde los momentos de la producción y el consumo son predominantes surge el estatus de lo rural” (Echeverría, 2013: 17).

El tiempo de lo extraordinario es aquél vinculado a la capacidad política y económica del hombre caracterizada por la constante transformación en rompimiento de lo rutinario, y afirma la capacidad de los seres humanos de inventar de manera libre formas propias y de su mundo (Echeverría, 2013); así, en el espacio urbano (ciudad) “se concentra la actividad circulatoria de los bienes producidos a través de la cual se conectan las dos fases del proceso de reproducción social, la producción y el consumo” (Echeverría, 2013: 45). De esta manera, la perspectiva económica se retoma como referente transversal para analizar las actividades y las relaciones sociales que otorgan sentido de pertenencia e identidad al hábitat, vinculado a las decisiones institucionales y la cotidianidad de la comunidad.

## METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la investigación se propone la metodología basada en la producción horizontal de conocimiento (phc) que “se caracteriza por la búsqueda de conceptos novedosos que permitan entender nuevas realidades” (Corona de Bak, 2019: 13) con base en las narrativas de los diversos sujetos individuales y colectivos. En tal sentido, el ámbito público es donde las personas se muestran y se reconocen ante los demás, por lo que es idóneo para la construcción de respuestas a las preguntas planteadas.

De acuerdo con Corona de Bak (2012), tal horizontalidad remite a considerar tres ejes: el conflicto generador, que trata de un encuentro en la intersección de diversos enfoques y modos de ver el mundo, que pueden ser aquéllos de distintas disciplinas o las voces externas a la investigación académica y permite la expresión de las necesidades propias y ajenas, “se enfrenen las disputas y se encuentren formas nuevas y negociadas de vivir juntos” (p. 31); la igualdad discursiva que refiere a “establecer condiciones de equidad y construir conocimiento mutuo” (p. 35); y la autonomía de las miradas, que “aspira a que cada uno exprese su voz de acuerdo con los propios lenguajes y los contextos” (p. 41).

Respecto al problema de estudio, el conflicto generador de la zona de estudio destaca por estar vinculado a la histórica defensa de la tierra a través de costumbres, tradiciones y expresiones de resistencia, en representación de los valores sociales a partir de intereses comunes para generar soluciones bajo la participación colaborativa. La igualdad discursiva surge en la vida cotidiana por medio de acciones y relaciones que conforman las prácticas sociales manifestadas en su interacción horizontal con el investigador, a través del diálogo de saberes y las entrevistas con voces alternas de la cotidianidad que expresan las dinámicas asociadas al hábitat a través de los modos de vida. De esta forma, la autonomía de las miradas se desarrolla bajo la expresión materializada de las costumbres de origen religioso, sociales y culturales, donde el sincretismo origi-

nado durante la colonización es base del lenguaje y el contexto actual.<sup>3</sup>

Las voces alternas refieren al sujeto social que “se complementa como ‘humano’ mediante la autoformación individual y colectiva en la medida en que se da forma a sí mismo y a su existencia colectiva, a su socialidad, con lo cual establece su determinación política” (Echeverría, 2013: 13), esto es, para establecer las formas de actuar en concierto y hacer comunidad. Se trata del “campesino/a” como un actor social heterogéneo,

[...] plural, constituido —debido a su vínculo con su territorio— por individuos rurales vinculados al campo y la ciudad, que son hombres, mujeres, ancianos y niños: campesinos, tamaleros, costureros, neveros, merengueros, loneros, obreros, maquiladoras [...] estudiantes, amas de casa, comerciantes, profesionistas, etcétera (Camacho, 2008: 26).

Se elige la muestra de casos-tipo y por conveniencia de disponibilidad (Miles y Huberman, 1994; Creswell, 2005), en este caso se trata de ocho entrevistas abiertas (tres mujeres y cuatro hombres) que se acompañaron con recorridos de campo, a partir de una pregunta detonante y la técnica de “bola de nieve”, en junio y julio de 2021.<sup>4</sup> La muestra final se determina cuando los casos que van adicionándose no aportan información o datos novedosos, por lo que el número de entrevistados se estableció con base en la saturación de contenido en las respuestas (Mertens, 2005). También se ha realizado revisión documental y literatura de carácter histórico, social, político y cultural. Además, se ha llevado a cabo la exploración de mapas para la identificación

3. En diciembre de 2020, enero y febrero de 2021 estuve presente en los diálogos de saberes sobre temas de territorio, agricultura y minería, principalmente, en el que participaron el ámbito gubernamental y una organización comunitaria de Atenco.

4. Durante el trabajo de campo se contó con el apoyo incondicional y clave del Colectivo Rodada 5 9/11, Fernando Sarabia Domínguez y Mayela S., quienes son habitantes de Atenco y que por solidaridad y empatía se integraron al equipo de investigación desde la primera visita al sitio. Cabe mencionar que ambos se dedican a trabajar en comunidad apoyando en la difusión, investigación y conservación de las tradiciones sin fines de lucro.

del espacio público en sus diversas tipologías y la infraestructura vial de interconexión entre ellas, que se complementa con el trabajo de campo e incluye la observación directa durante la cual se identificaron las actividades y relaciones sociales, a lo que se suma la consulta de fuentes estadísticas oficiales.

## DISCUSIÓN Y RESULTADOS: TERRITORIO Y REPRESENTACIÓN DEL HÁBITAT

### *DIMENSIÓN ESPACIAL FUNCIONAL: ACCESIBILIDAD Y PERMEABILIDAD*

Para abordar la representación de hábitat en el territorio se parte de la dimensión espacial funcional, esto es, la distribución tomando como punto de partida el tamaño poblacional de los asentamientos humanos. El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2020: 3) categoriza lo rural y lo urbano considerando la cifra de 2,500 habitantes (hab.) como tope para tipificar las localidades como rurales, independientemente de los aspectos económicos, culturales o sociales. A partir de tal referente se puede decir que, en términos funcionales la zona de estudio está conformada por ocho localidades urbanas y ocho rurales (tabla 1): el total de la población es de 75,489 habitantes (hab.), cuya densidad es de 9 hab./ha.<sup>5</sup>

**TABLA 1**  
Datos demográficos

Localidades urbanas y rurales	Cantidad de población (hab.)	Porcentaje respecto al total
Urbanas: Colonia El Salado	8,445	11.19
Granjas Ampliación Santa Rosa	8,992	11.91
La Pastoría	3,649	4.83
Nueva Santa Rosa	6,345	8.40
San Cristóbal Nexquipayac	7,744	10.25
San Salvador Atenco	19,823	26.26
Santa Isabel Ixtapan	5,548	7.35
Zapotlán	4,137	5.48
Rurales: Ejido de Nexquipayac, Ejido la Magdalena Panoaya, Ejido San Salvador Acuexcomac (Ejido la Purísima), El Amanal, Francisco I. Madero, Hacienda la Grande Fracción Uno y Los Hornos (El Presidio).	10,805	14.31
Total	75,489	100.00

Fuente: elaboración propia con base en el INEGI, 2020.

Atenco tiene una superficie de 8,707.00 ha, de las cuales 4,948.32 ha (56.83%) corresponden a usos suelo como pastizal halófilo, tular, vegetación secundaria (halófila hidrófila), sin vegetación y los cuerpos de agua; 3,291.63 ha (37.80%) son para uso agrícola, los tipos de riego anual y de temporal son los predominantes; y 467.05 ha (5.36%) corresponden a asentamientos humanos (INEGI, Censo de Población y Vivienda; y Marco Geoestadístico Nacional, 2020). Tales datos demuestran que el asentamiento humano tiene un porcentaje mínimo de ocupación de suelo, aunque se concentra principalmente en las localidades urbanas, ocupando el mayor porcentaje relativo a la localidad de San Salvador Atenco con el 26.26% (19,823 hab.). Éste se encuentra conurbado al municipio de Texcoco, que lo provee de servicios y equipamiento urbano especializado; más aún,

5. Respecto a la cantidad de población de las localidades rurales, la base de datos del INEGI no precisa tal dato por cada localidad, aunque lo considera en el sumatorio total de población del municipio.

guarda interrelación con la zona metropolitana de la Ciudad de México, como se expresa:<sup>6</sup>

Un día normal en Atenco es cuando te levantas y bueno aquí hay mucha gente que trabaja en la Ciudad de México y que estudia, afortunadamente sí hay gran cantidad de profesionistas aquí en Atenco que son egresados de la UNAM, del Politécnico, de la Universidad Metropolitana, pues son, sí son los que salen [...] (H4-ATE, 2021).

En la vida cotidiana, hay un porcentaje de la población que trabaja en la CDMX, es la gente que se levanta a las 4 ó 5 de la mañana y tiene que tomar el autobús, ya sea hacia San Lázaro, hacia Indios Verdes y hacia la zona sur que es hacia Los Reyes. Tenemos el otro sector de la población que hace su vida más cercana en la zona de Texcoco, zona de Ecatepec, igual, la que suele trabajar fuera. Gente que se dedica al campo, la dinámica es hacia atrás, hacia los ejidos [...] (H7-ATE, 2021).

El desplazamiento cotidiano de estudiantes y profesionistas a la Ciudad de México y a otros municipios del Estado de México refiere a una dinámica regional vinculada a oportunidades educativas y laborales que involucra la hibridación de la cultura en contexto del intercambio cotidiano en la dicotomía global-local (García, 2002), pues en tal interrelación se incrustan nuevas representaciones que se mezclan con los valores tradicionales de origen; esto forma parte de la evolución de las comunidades que mantienen relación estrecha con las zonas urbanas.<sup>7</sup>

Ahora bien, teniendo en cuenta que la relación entre costumbres, usos y tradiciones y su reflejo en los equipamientos culturales, deportivos y

de esparcimiento, como formas de apropiación a través de la expresión del contexto cultural del sujeto social, en este sentido, como primer paso se realiza el análisis de la distribución espacial del equipamiento, en razón de las actividades y relaciones sociales que en específico emergen de la convivencia, pues ésta de cierta manera propicia interacción social, sentido de identidad y pertenencia a un grupo social (Rodríguez y Sandoval, 2010: 248).

Se identifica la red de equipamiento en conjunto con la infraestructura vial (primaria, secundaria y terciaria), clasificándose en deportivo, cultural, lúdico y recreativo, cívico y religioso. Esto debido a que la población hace uso de ellos para fines diferentes a lo establecido por las instituciones, son apropiados para llevar a cabo fiestas patronales (mayordomías), rituales religiosos y juntas comunitarias. Esto es, las instituciones adecuan al sujeto como formas de poder desde la construcción de objetos urbanos con un uso occidentalizado que se plasma en una normativa; sin embargo, los sujetos deconstruyen estas dinámicas impuestas mediante la apropiación y uso en el que plasman su identidad y orígenes. En Atenco, el equipamiento deportivo, cultural y recreativo es de 294,226.97 m<sup>2</sup>, a lo que se suman las plazas de las iglesias por su importancia en las festividades religiosas, con un total de 295,843.05 m<sup>2</sup> (figura 1).

Si sólo se toma en cuenta la superficie de la oferta de áreas deportivas, culturales y lúdicas recreativas en la zona de estudio, esto es, de los espacios dedicados a este tipo de infraestructura y equipamiento, su superficie total es de 294,226.97 m<sup>2</sup>, lo que significa una tasa de disponibilidad de 3.89 m<sup>2</sup> por habitante. Ahora bien, la distancia promedio entre la zona de vivienda más alejada a cada una de las áreas mencionadas es de tres o cuatro kilómetros. En cuanto a la movilidad para tener acceso a cada equipamiento, el tiempo promedio de espera y traslado es de 10 a 15 minutos y la modalidad común es a través de mototaxi, con un costo de 10 a 12 pesos por persona por cada viaje directo. Los entrevistados expresan que muchas veces es mejor caminar, pues con-

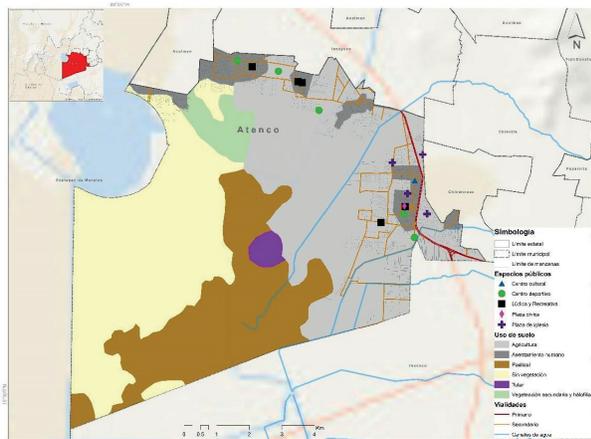
6. Para identificar a las personas de las zonas de estudio que participaron en los diálogos de saberes y en las entrevistas, se utiliza un código que se forma con el número que le corresponde como participante, las iniciales del municipio y el año en el que se aplicó el instrumento. Por ejemplo: participante 3, Atenco, 2021 es igual a H3-ATE, 2021.

7. La accesibilidad a la zona urbana como la Ciudad de México implica una inversión de 124 pesos por persona en transporte público, ida y vuelta (Atenco-Texcoco-Ciudad de México), con un viaje de 60 minutos de duración, aproximadamente, según corresponda el destino de trabajo o plantel educativo, entre otros.

templan un intervalo de 20 minutos. En tal panorama, es importante mencionar que los efectos de la red de equipamiento e infraestructura en las prácticas sociales y viceversa van más allá del diagnóstico cuantitativo, pues se vincula con trayectorias interrelacionadas con la vida cotidiana, tradiciones, costumbres y festividades patronales como la mayordomía, lo cual se desarrolla en lo subsiguiente.

**FIGURA 1**

Equipamiento deportivo, cultural y esparcimiento, Municipio de Atenco



Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI y calculo geo estadístico de superficies.

### DIMENSIÓN SOCIOCULTURAL Y ECONÓMICA

Para analizar las voces cotidianas alternas y saberes en igualdad discursiva del sentido de pertenencia e identidad vinculadas a las prácticas sociales (actividades y relaciones) de apropiación y uso, se parte de entender las pautas sobre las que se han establecido en el hábitat, como se desarrolla en lo subsiguiente.

### APROPIACIÓN UTILITARIA Y FUNCIONAL

Como se ha mencionado, el conflicto generador en Atenco se interrelaciona con los efectos de las transformaciones de la política neoliberal que coadyuvaron a la expropiación, al proceso facilitador para el cambio de uso de suelo ejidal a dominio pleno y la compra de tierras baratas para su posterior valor especulativo en contexto

de un megaproyecto (el NAICM). Situación que ha derivado pautas de control y apropiación a través de la resistencia y la reproducción de las costumbres y las tradiciones por parte de los pueblos originarios. De ahí que confluyen diversos enfoques y modos de ver y gestionar el territorio por parte de las instituciones, la iniciativa privada y los mismos habitantes de la zona de estudio, cuyo enfrentamiento y disputa han dado lugar a nuevas formas, expresiones y decisiones que los habitantes refieren:

[...] saber ¿cuál es el territorio adonde le dicen federal?, ¿por qué federal le llaman? Inicialmente nuestros antepasados éramos dueños de todo esto, pero viene una política y ahora le llaman federal. “no que no hay que tocarlo porque es terreno federal”. ¿Quién es el gobierno federal? Siempre me he preguntado ¿quién es? ¿Ustedes? ¿Nosotros? Si es cierto, el pueblo es el gobierno, pero cuando entra alguien, ayer o antier que venimos, los policías bien arrogantes, nos ven así [gesto de soberbia] (H2-ATE, 2021).

Remite a la exclusión de los pueblos en las decisiones como uno de los factores que han originado la desconfianza en las instituciones, cuyas consecuencias adversas generan el conflicto, vinculado sobre todo a la ruptura del tejido físico a través de la compra y venta de tierras y el efecto inminente sobre el tejido social entre los habitantes de Atenco. En tal sentido, Simmel (2013) expresa que el conflicto surge cuando se manifiestan diferencias que no sólo facilitarían que el todo supere divergencias internas y distanciamientos entre sus miembros, sino que sus relaciones internas ganarán en claridad y firmeza. Esto se observa en las agrupaciones que aún no acceden al grado de objetivación del Estado en lo que concierne a las formas institucionales derivadas de las transformaciones jurídicas y programáticas. Justo, la región nororiente de la cuenca de México (RNCM) es un referente de identidad histórica y cultural ligada a tradiciones y costumbres derivadas del sincretismo

prehispánico y colonial,<sup>8</sup> en particular, a la tierra, que los españoles etiquetaron como “ejido” a las diversas organizaciones indígenas que se han reinventado desde la Constitución de 1917, ejecutado por Cárdenas en 1930 y reformulado en 1992 (Esteva, 2012).

En cuanto a la dimensión económica, en la zona prevalece la agricultura tradicional para el autoconsumo y subsistencia de la población local, esto es, desde un contexto metropolitano, el “97% de las unidades de producción son de menos de cinco hectáreas que se expanden sobre zonas boscosas y a menudo en laderas” (POZMVM, 2011: 50),<sup>9</sup> sólo 28% de la producción es comercializada, y la actividad pecuaria es de tipo pastoreo extensivo sobre pastizales (Fernández y De la Vega, 2017: 5). De esta manera, un habitante afirma:

[...] ver de qué nos vamos a mantener los Pueblos, lo dije, no tenemos, y lo grito ino tenemos grandes industrias, no tenemos servicios!, lo único que tenemos compañero, es agricultura iy no se le está poniendo atención a la agricultura! (H3-ATE, 2021).

[...] a partir del aeropuerto entró mucha gente que recibió dinero, hizo locales, ya hay como muchas zonas de comercios. La entrada principal hay muchos locales, está invadido, ya todos ponen negocios [...] (H4-ATE, 2021).

De ahí en fuera, hay varios sectores de la población, gente que se dedica a la costura, tiene sus negocios en la comunidad, otros negocios propios que tienen aquí en la comunidad varía, como en todos lados. Desde el carpintero, el electricista, el de la tiendita de la esquina, el de la papelería, o sea hay de todo. Los que salen de aquí, los que se quedan aquí, los que tienen negocios aquí. La mayoría de aquí nos dedicamos a una profesión o somos comerciantes, es a lo que se dedica la mayor parte (H7-ATE, 2021).

Es evidente el predominio del carácter rutinario sustentado en la producción y el consumo, más que a la actividad circulatoria de los bienes producidos, lo cual se vincula con lo rural del territorio (Echeverría, 2013). Ahora bien, la lucha por la tierra ha significado la defensa de la “comunidad tradicional” y la memoria histórica del pueblo (Quintana, 2019), destacando el rol de la comunidad como heredera y continuadora de los valores y tradiciones. Predomina el carácter rural que confiere particularidades a cada localidad al formar parte de un territorio complejo de constantes gradientes en la transición entre lo rural y lo urbano, en una intersección donde algunas industrias pueden encontrarse en localidades consideradas rurales por el tamaño de la población.

Las voces alternas de la vida cotidiana expresaron puntos de vista que hacen referencia al aspecto objetivado de la cultura en cuanto a un bien ambiental que es peculiar del hábitat de la zona, y ha sido objeto de intervención humana en diferentes etapas históricas, como se afirma:

[...] es parte de nuestro origen [haciendo referencia al ex Lago de Texcoco], que nuestros antepasados trabajaron para preparar la tierra, y se pudiera sembrar, las vacas acuáticas allá pastaban y había peces, sí [...] ahora el aire tiene polvo, esto de la modernidad sólo ha acabado con todo, nuestros cultivos sin fertilizantes [...] ya no podemos hacer lo de antes, donde muchos convivíamos [...] (H5-ATE, 2021).

Aluden a la importancia funcional que tiene el ámbito paisajístico en la comunidad, involucrando “el manejo y apropiación de los espacios físicos y simbólicos para dar lugar a distintas ideas de sociedad” (Téllez, 2010: 19), en razón de las transformaciones físicas llevadas a cabo por agentes externos que han modificado las formas de apropiación y uso del hábitat, que denotan la fragmentación social y cultural. A tal efecto se suman el conflicto y su relación con las diferencias trasladadas al territorio físico, tal como enuncian ciertos habitantes:

8. Atenco, en náhuatl significa “orilla del agua”, en referencia a su situación de ribera del antiguo Lago de Texcoco.  
9. Programa de Ordenación de la Zona Metropolitana del Valle de México (POZMV).

Las cosas a partir del aeropuerto se pusieron muy mal, porque muchas familias por intereses personales [...] se quedaron con los terrenos para venderlos [...] y dejaron a otros de la familia sin nada [...] vino a desestabilizar la convivencia en Atenco [...] (H4-ATE, 2021).

La mitad, nos dividimos, yo sí quiero el aeropuerto, yo no, y así muchas cuestiones, las familias se separaron, se pelearon entre ellas. Algunos querían vender sus terrenos, otros no y así empieza, cuando empezó ya lo del aeropuerto (H5-ATE, 2021).

El problema más fuerte empezó con lo del aeropuerto [...] muchas familias se separaron [...] unos se iban por un grupo, otros con el otro grupo, se rompió la trama social [...] hasta la fecha hay familias que no se hablan [...] (H6-ATE, 2021).

Aquí viene el deterioro del tejido social a raíz de todos los hechos ocurridos en la comunidad de Atenco. Aquí en Atenco el cambio fue demasiado brusco por este tema de la ruptura del tejido social [...] Es un cambio demasiado acelerado y muy marcado ¿por qué? [...] No fue un cambio evolutivo, fue rápido [...] (H7-ATE, 2021).

[...] la gente llega a ver a su comunidad de manera diferente y la obliga a dejar ciertas actividades, costumbres y dinámicas para adaptarse a lo que requieren los agentes externos que empiezan a involucrarse en la comunidad [...] (H7-ATE, 2021).

A partir de intereses personales, tanto de personas que son de la comunidad como de personas externas que llegaron y se convirtieron en parte de la comunidad. La gente de la comunidad que vio por sus intereses y vio la oportunidad de crecer económicamente, más en su beneficio, no en beneficio de la sociedad comunal [...] Al exponer a una comunidad inexistente hasta ese momento con un amplio territorio virgen, lo que haces es ponerlo en la mira de empresas, mucha gente dice “sabes que ahí va haber algo, comprar un terreno [...]” y comienza este agente externo

de personas, ideologías y gente que comienza a cambiar la dinámica social [...] (H8-ATE, 2021).

La construcción del megaproyecto (NAICM) tuvo como efecto la disociación de los terrenos que estaban en propiedad de los pueblos originarios, debido a perspectivas divididas en cuanto a la ocupación y posesión de la tierra, que ante las transformaciones al artículo 27 de la Constitución facilitó la conversión a dominio pleno (Gómez de Silva, 2016). Tal situación se llevó a cabo en un contexto que confrontaba la representación del espacio, por una parte como valor de cambio y, por otro, asociado con el valor social: se dividieron opiniones y acciones, pues algunos miembros de los núcleos de población agilizaron el cambio a dominio pleno y vendieron, mientras otros conservaron la propiedad ejidal. De tal suerte que se configuró un entramado heterogéneo de tipos de uso de suelo, que más allá de la fragmentación espacial tuvo consecuencias en las relaciones y actividades familiares y sociales que transfiguraron las formas de convivencia. También, la llegada de agentes externos con visión especulativa detonó la expansión urbana, como lo demuestran los datos estadísticos. De acuerdo con el INEGI (Censo de Población y Vivienda, y Marco Geoestadístico Nacional, 2020), en 1995 la población total del municipio de Atenco era de 27,988 habitantes y la tasa de crecimiento hasta el año 2000 fue del 13.57% (6,447 hab.), para 2005 aumentó a 17.18% (8,304 hab.) y en 2010 fue de 28.43% (13,504 hab.); más aún, en lo que corresponde en la última década la tasa de crecimiento aumentó en 40.51%, lo cual corresponde a 75,489 habitantes en total hasta la actualidad. Los datos demuestran que el arribo de externos aumentó en los últimos 10 años de manera considerable, lo cual se vincula con lo expresado a continuación:

Por los trabajos del aeropuerto llegaron personas de fuera como de Sonora, Sinaloa, algunos se han quedado y desconocen muchas costumbres [...] (H4-ATE, 2021).

[...] pero como te digo después del aeropuerto vino mucha gente a la comunidad y ellos son entonces los que están cambiando nuestras costumbres [...] (H5-ATE, 2021).

#### APROPIACIÓN SIMBÓLICA Y CULTURAL

La situación mencionada ha transformado las prácticas sociales vinculadas a la convivencia en el espacio público, a saber, anteriormente la celebración de las mayordomías se realizaba en espacios abiertos.<sup>10</sup> En la actualidad se ha tenido que desplazar al espacio privado como mecanismo de defensa ante la población que recientemente ha llegado a Atenco y desconoce el significado de la ceremonia, por lo que de manera deliberada asume un comportamiento diferenciado, como se enuncia:

Al insertarse agentes externos en una comunidad que tiene una dinámica clara que todo mundo conoce. El ejemplo de la mayordomía. Hoy la gente tiende a cerrarlo a la privacidad, porque llegan estas personas y no entienden la dinámica social y no les interesa [...] lo que hacen es llegar a deformarla como ellos quieren y entiendan o las costumbres que ellos traen. Otro ejemplo, la fiesta de Carnaval, piensan que es para echar relajo, cuando en realidad no entienden el contexto histórico y cultural [...] sólo llegar a cambiar las cosas [...] Hace años era abierto a todos hasta donde alcanzara la comida. Antes en las calles, un terreno baldío, donde sea, antes sabías que era gente de la comunidad (H8-ATE, 2021).

Antes no había necesidad de cerrarlo [se refiere al espacio para comer durante la fiesta de mayordomía] ¿por qué? [...] La fiesta se hacía en grande y no tenías que delimitarlo porque la gente sabe que, si a tal familia le corresponde, ellos van a invitar únicamente a su familia y si te llegan a

invitar eres bienvenido [...] Sabes que el hecho de que te inviten implica que te están pidiendo la ayuda comunal [...] (H2-ATE, 2021).

La mayordomía es un componente que tiene un papel importante en la formación del ser cultural de la comunidad, “participar en la mayordomía acredita o reafirma al participante como miembro de la comunidad” (Torres, 2005: 1), esto es, representa un referente de sentido de pertenencia e identidad, pues comprende la colaboración y la convivencia más allá de los términos preestablecidos por el orden institucional a través del equipamiento deportivo, cultural y recreativo (figura 2). En particular, en tal celebración las diferencias entre las familias y cada uno de sus miembros pasan por alto, ya que el hecho de ser reconocidos como parte de la comunidad por haber cumplido y servido es más importante para mantener el prestigio y ser tomado en cuenta en lo subsiguiente, aunque marca el hecho de exclusión del extranjero. También se expone:

Los conflictos siguen, ¿no?, pero ya cuando se trata de la Iglesia todos respetan, cuando se trata del Carnaval todos son amigos ¿no?, y digamos que para las fiestas todo el pueblo se une y esa unión nos gustaría verla cuando hay algún conflicto y exigir tus derechos [...] (H4-ATE, 2021).

En cierta medida, la convivencia es un mecanismo para disuadir el conflicto debido a que fomenta la colaboración y la solidaridad, sobre todo desde el aspecto religioso y cultural, elementos imprescindibles en la construcción de comunidad. Asimismo, se llevan otras prácticas sociales de integración y bien común, como se argumenta:

Cuando ya te metes dentro de la comunidad, necesitas, que te gusta, maíz “ahhh ahorita maíz todavía tiene doña no sé quién, ahh pues es la esquina de doña no sé quién”, que necesitas frijol, “ahhh él sembró frijol apenas en este año, él ha de tener frijol, ve a ver”, “no, que ya no tengo, ve con tal persona, él también sembró frijol”, “¿quién?”, “no, que necesito el sorgo [...] él está

10. Los miembros de las familias de los mayordomos participan en las diversas actividades, como en el preparado de alimentos, limpieza, colocación de los adornos y en la cooperación para los gastos. Son las familias y los invitados de los mayordomos quienes por tradición sólo pueden formar parte de la celebración y el convite.

**FIGURA 2**  
La mayordomía



Fuente. Elaboración propia, 2021.

produciendo”, “que compré animalitos y necesito la alfalfa, oye estás sembrando alfalfa, necesito que me pases a dejar alfalfa”, “pasa a dejar alfalfa a las casas donde todavía tienen animales y ocupan la alfalfa” [...] ya no es tan visible a cómo eran los recuerdos de mi infancia; sin embargo, aún existe este tema, lo que es en la comunidad de Atenco (H7-ATE, 2021).

[...] la gente normal, las amas de casa en la vida cotidiana, el mandado, ya sabes a las 9, aquí no abren tan temprano los negocios, abren como a las 9 ó 10 de la mañana, que para el desayuno, que para la comida, que te encuentras a la comadre en la carnicería, en la tortillería, cuando vas en la calle te encuentras a alguien conocido. Los lunes son del tianguis, y de ahí en fuera, la vida cotidiana es así (H7-ATE, 2021).

El habitar desde la vida cotidiana reactiva todos los recursos, habilidad que es necesaria para intercambiar y/o comprar productos de primera necesidad generados de manera local de acuerdo con las posibilidades de cada miembro o grupo de la comunidad. De esta manera, se convierte en una dinámica iterativa a partir de acciones que involucran la afectividad y los recursos, capaz de leerse e interpretarse como significantes de la comunidad que alude al lugar de producción para el autoconsumo. En paralelo, se construye una mixtura de significados entre lo religioso, las necesidades básicas y rituales específicos, como un habitante describe:

[...] 15 mayo, San Isidro Labrador, el comisariado ejidal organiza la fiesta donde visitan los pozos. A las 7 am se va a la iglesia, cuando termina la misa, con banda de música comienza el recorrido a los pozos, se lleva el santo, el rezandero, se agradece. Los del pozo se preparan con comida, tamales, cervezas, refrescos, café, alguna cosa se ofrece a la gente. Un grupo de personas están a cargo de cada pozo, checar que estén funcionando bien y el día de riego para cada persona. Todos van en carros, tractores, bicicleta o caminando, de pozo en pozo [...] se termina en el parque ejidal, llevan su comida, para guisar, prender sus tlecuiles, asan carne, es la convivencia familiar en torno al campo [...] Se pide que el año sea con lluvia para sembrar la tierra (H4-ATE, 2021).

Tales prácticas forman parte de las experiencias vividas, más allá del significado religioso y la función operativa del pozo, el cual es un elemento detonador de convivencia a través de la colaboración y las formas solidarias que afianzan el vivir en comunidad y obtener un recurso natural indispensable para la subsistencia humana. De ahí que los recorridos y las actividades al aire libre vinculados al campo forman parte del sentido de pertenencia a través de diversas formas de apropiación del espacio público que fortalece el tejido social. En este caso la convivencia se concibe como una reunión cálida de vecinos como sociedad convivial, que se entiende como “aquella en que la herramienta moderna está al servicio de la persona integrada a la colectividad

y no al servicio de un cuerpo de especialistas” (Illici, citado por Esteva, 2012: 181), esto es, forma parte del apego afectivo como símbolo de identidad socioterritorial, que involucra aspectos objetivados como los bailes, las fiestas del ciclo anual y los rituales específicos del ciclo de la vida, las danzas, la comida entre otros, como se expone:

La fiesta más grande es el 6 de agosto, Iglesia el Divino Salvador, hay bailes de santiagos, vaqueros y sembradores [...] El último día los sembradores regalan frutas y otros productos de la cosecha. Se piden donaciones con semanas de anticipación. Por ejemplo, los mototaxistas, los textileros, así cada uno dona una misa. Se sale a las calles a pedir ropa para el santo, el florado, adorno de la iglesia, cuetes, bombas, toritos [...] pedir donación a algunas familias. Hay pocos que dicen que no, solamente por los conflictos que tuvieron por el aeropuerto (H4-ATE, 2021).

En el carnaval con nuestros disfraces [...] bailamos en la calle y la gente coopera, depende de la cooperación es el tiempo que baila cuadrilla. Así es la dinámica cultural, una mayordomía, carnaval, fiestas patrias, día de muertos, se hacen de manera comunal [...] Actualmente se ha perdido la participación de la comunidad, por ejemplo, para cargar a los santos [...] (H8-ATE, 2021).

Como Torres (2005: 3) afirma: “el baile popular es el lugar en el que se empiezan a establecer relaciones sociales y que probablemente lleguen a formar alianzas”, es decir, los bailes del Carnaval son detonantes de la convivencia que entreteje las relaciones sociales a través de la actuación en concierto que coadyuvan a un escenario de confianza y participación. No obstante, el modo de convivencia ha sufrido transformaciones por la disputa sobre el territorio, que se refleja en acciones cotidianas y en las fiestas con sus reglas manifiestas, como se describe:

[...] eran 8 ó 15 días que duraba un casamiento [...] no contratábamos sillas ni mesas, íbamos con el vecino “oye, préstame tu silla”, ahí ibas y llevabas

tus sillas, ahí era conforme invitabas al vecino “oye, te espero, ¿no?”, o sea, un intercambio (H5-ATE, 2021).

[...] Estaba yo chamaco, tenía unos 10 años, en las bodas pedías las mesas, las sillas, la gente iba ayudar. Hoy la gente te va ayudar, pero ya no como antes si llevaban sus metates a moler y toda la cosa, ibas preparando todo. Desde temprano se llega a preparar la comida [...] es que también ya conoces a las familias, las originales todavía conservan esas tradiciones [...] (H8-ATE, 2021).

[...] con el aeropuerto ¿cómo cambiaron las fiestas? Sí invitabas, pero ya no llegaban, si llegaban luego luego veías la distinción porque, unos se sientan de un lado y otros del otro. Eso no se daba antes, antes se perdió el respeto [...] Si ibas a invitar a tu tío, “sabes que con 20 cajas de refresco” ibas a invitar al cuate, “ahí yo te doy una caja de [...]”, ahora ya no, ahora todo se corrompió [...] (H5-ATE, 2021).

El intercambio y el apoyo mutuo en las fiestas llevadas a cabo tanto en el espacio público como en el privado fomentaban el compañerismo, lo cual fue perpetuado por el conflicto entre familias ante la inminente construcción del megaproyecto urbano que quebrantó las relaciones sociales debido al cambio de uso de suelo y su venta, generando un tipo de mosaico asociado con maneras diferentes de habitar el espacio y en formas de relaciones sociales fragmentadas. No obstante, la descripción del lugar o territorio al que se siente más ligado se hace siempre en términos valorativos y expresivos:

Los originarios de Atenco somos del linaje de la Colhuacan, somos descendientes de Nezahualcōyotl [...] la mayoría de la población no conoce su historia [...] El agua llegaba hasta el parque de los Ahuehuetes. Todo el camino hasta los cerros era de ahuehuetes. Desde tiempos prehispánicos se han querido quedar con estas tierras (H4-ATE, 2021).

Si se hubiera hecho lo del aeropuerto se hubiera acabado todo, ni cuetes podríamos echar. Vivir en Atenco, en primera me enorgullece vivir en este pueblo, tan humilde, tan sencillo, es el vivir, nuestros antepasados no han muerto, es una alegría vivir en este pueblo, donde nadie te oprime vives como tú quieres, en libertad [...] (H5-ATE, 2021).

[...] los malos son gente de fuera. Nos diferencia un poquito el vestir, en Tepetlaoxtoc al norte como vaquero con botas, aquí hay de todo, vaqueros, elegantes, es un pueblo en las fiestas se viven con armonía. Ahora los traidores se apartan (H5-ATE, 2021).

Orgullo, dignidad y esfuerzo, estigma, lucha, dignidad, costumbres, tradiciones, historia, cultivo, la esencia misma de lo que es ser mexicano (H7-ATE, 2021).

Se alude al origen prehispánico vinculado a los antepasados que gobernaron el territorio, en particular un determinado jardín de ahuehuetes y su coexistencia con el agua.<sup>11</sup> Actualmente, el jardín es llamado Parque Ahuehuetes es referente recreativo, deportivo y cultural para los habitantes de Atenco, ya que oferta actividades para caminata, juegos infantiles, campamento, fútbol, culturales (museo local); aunque se encuentra cerrado por la pandemia, por tal motivo es que actualmente no se utiliza y se ha optado por el uso de los campos de cultivo para llevar a cabo las actividades de esparcimiento (figura 2).<sup>12</sup> Por un lado, el territorio se vincula con la cuna de la identidad mexicana, al ser originarios del lugar y descendientes de Nezahualcōyotl es motivo de orgullo; por otro, es referente de lucha y resistencia ante el inminente despojo de que han sido

objeto por el Estado neoliberal. Devienen algunas memorias que manifestaron:

El tema del campo, sí hay, pero ya no es como en años anteriores en la que la mayoría se dedicaba al campo, se vendían los productos, venía gente a comprar el producto en los terrenos, en terrenos específicos [...] la dinámica ha cambiado mucho, pero se mantiene. Hace 25 o 28 años, de lo que viene a mi memoria, de lo que es la comunidad de Atenco como tal, lo que hoy todavía puedo ver, es en la comunidad de Nexquipayac [...] El señor con los animales, va al campo, la herrería, el chavo con la leche, las mujeres que van a comprar a la carnicería del carnicero de la comunidad, el huevo es de gallina de la casa, el producto alimenticio o del de agricultura es más directo del campo a la mesa, aquí. Poco a poco se fue modificando y perdiendo, pero no ha dejado de haber [...] (H7-ATE, 2021).

Los recuerdos [...] donde un cuarto de adobe, desgranando, olor a humo, pulque y un taco de sal. El parque El Contador, Ahuehuetes y Acac-tetelco [...] (H8-ATE, 2021).

La manera en que el territorio es percibido y valorado por los habitantes se manifiesta a través de una serie de ritos y festividades relacionadas fundamentalmente con el ciclo agrícola y el agua, como Robinson (1998: 7) apunta: “la identidad de los pueblos se mantiene en función del control sobre los espacios y ceremonias vitales”. A lo que se suman las formas de organización para garantizar un tipo de orden y control.

Los delegados, son los representantes del pueblo ante el municipio, si el pueblo les dice queremos esto, ellos entran o se entrevistan con el presidente municipal [...] Tres cuetes, significa una reunión convocada por los delegados, más cuetes es más intenso el asunto [...] hay mucha gente que anda ahí robando, entonces ya implementaron guardias entre campesinos [...] (H4-ATE, 2021).

11. El jardín fue creado por Nezahualcōyotl, un monarca de la ciudad-Estado de Texcoco del México antiguo.

12. La pandemia se debe al nuevo coronavirus conocido como SARS-CoV-2 y causa la enfermedad llamada covid-19, que fue notificado por primera vez en Wuhan (China) el 31 de diciembre de 2019, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), misma que lo declaró pandemia a partir del 11 de marzo de 2020.

**FIGURA 3**  
Parque Ahuehuetes



Fuente: Elaboración propia, 2021.

Las decisiones en comunidad se toman en asamblea, se convocan en la plaza y cualquiera puede hacerlo. Las decisiones aún se toman en asamblea comunal, por votación económica [...] (H8-ATE, 2021).

[...] hay mucha desunión aquí en Atenco, pero poco a poquito la gente va despertando, espere-mos que en un futuro la gente despierte [...] En las redes sociales cuando hay problemas y eso lo difundes en redes sociales y los primeros que llegan son los jóvenes, ya se está involucrando un poco más la juventud, porque antes solamente de voceaba en las calles y los que llegaban era siempre gente mayor (H4-ATE, 2021).

Como se ha desarrollado, el territorio bajo estudio ha de entenderse como un sistema dinámico y cambiante que acepta y admite que cada sujeto puede construir múltiples redes facilitadoras del tejido social y no solamente las propuestas por la vía institucional, porque en la dinámica misma de las comunidades los sujetos deciden y crean formas de vivir (Téllez, 2010: 19).

## CONCLUSIONES

El territorio bajo estudio ha sido objeto de diversas intervenciones institucionales que han suscitado diferentes conflictos relacionados con la defensa de la tierra, las costumbres y las tradiciones, las cuales al mismo tiempo se han con-

vertido en una forma de resistencia al cambio ante la política neoliberal. Como resultado de la investigación, se plantean algunos elementos que pueden abonar a la ejecución de políticas públicas en materia de diseño urbano y el tejido social relacionadas con el hábitat, como se presenta a continuación.

En cuanto a la dimensión espacial funcional, la problemática se plantea desde el abasto suficiente o no del equipamiento deportivo, cultural y de esparcimiento, lo cual en términos cuantitativos es apto, considerando que existe una interrelación con otras demarcaciones próximas y con la Ciudad de México. Por ello, se recomienda considerar el existente e incentivar programas comunitarios de mejoramiento para dar mantenimiento e impulsar la participación; por ejemplo, en el caso del Parque Ahuehuetes, que es referente en la significación del lugar. Es importante mencionar que la Zona Federal Lago de Texcoco constituye una reserva natural que ha sido expuesta a intervenciones antropizadas, como es la construcción del NAICM, lo cual ha tenido efectos medioambientales que afectan las prácticas sociales y las funciones relacionadas con la actividad agrícola en la región, por ello se sugiere implementar una herramienta de protección y conservación, además constituye un espacio público que representa el origen de la identidad de la zona de estudio y de la nación.

Respecto a la dimensión sociocultural y económica, se propone implementar mecanismos de reencuentro entre los pobladores originarios y

los externos, con el fin de impulsar su integración a partir de actividades y relaciones sociales de convivencia que contrarresten la exclusión entre ambas partes. En la medida de lo posible, para evitar el distanciamiento entre los mismos habitantes se recomienda tomar en cuenta las voces que generalmente no son escuchadas, aquel sujeto social que enfrenta las vicisitudes de la vida cotidiana y necesita ser representado ante las instituciones. Además, se precisa en la resignificación del espacio público a través de su connotación como ámbito de representación y no sólo como equipamiento en términos cuantitativos: equipamiento desde la institución versus espacios de la comunidad.

El intercambio de productos de primera necesidad constituye un aliciente para generar posibilidades económicas locales, al mismo tiempo impulsa las tradiciones socioculturales vinculadas a la actividad agrícola, sin afectar el medio ambiente natural. Por tal motivo, se sugiere implementar un programa de intercambio por cosecha de temporada y la diversificación de productos locales de la región que, en cierta medida, puedan abastecer las necesidades básicas y generar redes de apoyo y trueque para el autoconsumo. Asimismo, reivindicar los campos de cultivo como lugares de encuentro y convivencia alternativa y prioritaria, como ha sucedido actualmente debido a un evento sanitario, esto con la finalidad de reconstruir el sentido de pertenencia en los jóvenes; por tanto, su defensa y cuidado ante agentes políticos y económicos externos que puedan vulnerar el medio ambiente, pues la identidad de los pueblos se mantiene en función del control sobre los espacios y ceremonias. En cuanto a las festividades relacionadas con los rituales religiosos, se propone aplicar un programa cultural con difusión local, vinculadas a las danzas lugareñas, la comida regional, las fiestas del ciclo anual y los rituales específicos del ciclo de la vida, enmarcados bajo criterios de bien e integración comunal.

En suma, el espacio público que otorga sentido de pertenencia e identidad al hábitat en la zona de estudio se construye a partir de formas de apropiación y uso que caracterizan tanto al

ámbito rural como al urbano, debido a la proximidad de la Ciudad de México y otros municipios de carácter urbano, de los cuales obtienen varios satisfactores, como servicios públicos y equipamiento. En paralelo, la resistencia a través de las costumbres y rituales en el espacio público ha sostenido el carácter comunitario y rural de la demarcación, constituyéndose como la dimensión política de la vida social que coadyuva las actividades y las relaciones cotidianas que tienen que ver con compartir el mundo, a través de las diversidades de apropiación y uso como las contradicciones y las disputas que impulsan el tejido social.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ávila, H. (2011). Socio-territorial changes in peri-urban food production spaces in Central Mexico. *Norois*, núm. 221, pp. 39-51. <https://doi.org/10.4000/norois.3738> Recuperado de <https://norois.revues.org/3738>
- Barsky, A. (2013). Gestionando la diversidad del territorio periurbano desde la complejidad de las instituciones estatales. Implementación de políticas públicas para el sostenimiento de la agricultura en los bordes de la región metropolitana de Buenos Aires (2000-2013). Tesis de Doctorado, Facultad de Filosofía y Letras, Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona. Recuperado de <http://www.tdx.cat/handle/10803/129121>
- Borja. (2014). Espacio público y derecho a la ciudad. Las disputas por la ciudad. En: Ramírez, P. (Comp.), *Espacio social y espacio público en contextos urbanos de Latinoamérica y Europa* (1ª edición, pp. 570-589). México: Biblioteca Mexicana del Conocimiento, Gobierno y Administración Pública.
- Camacho, D. (2008). *Atenco arma su historia*. Tesis para optar por el título de maestro en Desarrollo Rural. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco.
- Castañeda, E. D., y Castellanos, J. A. (2016). Atenco: El inicio de una lucha por su identidad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(2): 427-439. doi: <https://doi.org/10.29312/remex-ca.v7i2.355>. Recuperado de <http://www.scielo>.

- org.mx/scielo.php?script=sci\_abstract&pid=S2007-09342016000200427&lng=es&nrm=iso
- Comisión de Asentamientos Humanos, Oficina del alto comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos. (1991). El derecho a una vivienda adecuada (Art. 11, párr. 1): 13/12/91 CESCR Observación general núm. 4 (General Comments) 6º periodo de sesiones. Figura del documento E/1992/23. Recuperado de <https://www.acnur.org/fileadmin/documentos/bdl/2005/3594.pdf>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2011). Hacia una nueva definición de “rural” con fines estadísticos en América Latina. Documento de proyecto. [LC/W.397]. Santiago, Chile: CEPAL/Gobierno de Francia. Recuperado de [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3858/1/S2011960\\_es.pdf](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3858/1/S2011960_es.pdf)
- Comisión Nacional del Agua (2015). XI Censo de Población y Vivienda. México: INEGI.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (1917) y de las reformas publicadas en el Diario Oficial de la Federación del 5 de febrero de 1917 al 10. de junio de 2009. Recuperado de <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/6/2802/8.pdf>
- Corona de Bak, S. (2019). Producción horizontal del conocimiento. Alemania: CALAS/Universidad de Guadalajara/Editorial USR/FLACSO Ecuador/Unsam Edita.
- Corona de Back, S., y Kaltmeir, O. (2012). En diálogo. Metodologías horizontales en ciencias sociales y culturales. México: Gedisa.
- Creeswell, J. (2005). Educational Research: Planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research (2ª edición). Upper Saddle River: Pearson Education Inc.
- Del Valle, América. (2018). Atenco resiste. Coyunturas. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=wPjcVH3u99s>
- Echeverría, B. (2013). Modelos elementales de la oposición campo-ciudad. Anotaciones a partir de una lectura de Braudel y Marx. México: Itaca Editor/Jorge Gasca Salas. URI: <http://hdl.handle.net/10469/7304>
- Echeverría, M. C. (2011). Hábitat del habitar, como territorio étnico, grupal y socialmente significado. Componentes tomados del informe de la etapa 1 del proyecto presentado por la Universidad el 14 de marzo de 2011. Recuperado de <https://construccionsocialdelhabitar.files.wordpress.com/2011/04/hc3a1bitat-del-habitar.pdf>
- Esteva, G. (2012). Regenerar el tejido social de la esperanza. Polis, 11(33): 175-194. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-65682012000300008>
- Fernández, P. (2011). La relación campo-ciudad en las localidades del borde sur de la zona metropolitana del Valle de México. Tesis de Doctorado en Ciencias Sociales. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Recuperado de [http://www.academia.edu/9411062/La\\_relaci%C3%B3n\\_campociudad\\_en\\_las\\_localidades\\_del\\_borde\\_sur\\_de\\_la\\_zmvm](http://www.academia.edu/9411062/La_relaci%C3%B3n_campociudad_en_las_localidades_del_borde_sur_de_la_zmvm)
- Fernández, P., y De la Vega, Sergio. (2017). ¿Lo rural en lo urbano? Localidades periurbanas en la zona metropolitana del Valle de México. EURE, 43(130): 185-206. Recuperado de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0250-71612017000300185](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612017000300185)
- Ferretti, M., y Arreola, M. (2012). Del tejido urbano al tejido social: Análisis de las propiedades morfológicas y funcionales. Nova Scientia, 5(9): 98-126.
- García, N. (2002). Economía y cultura: El espacio común latinoamericano. Buenos Aires: Paidós.
- Giménez, G. (2005). Territorio e identidad. Breve introducción a la geografía cultural. Trayectorias, VII(17): 8-24. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/607/60722197004.pdf>
- Gómez de Silva, J. J. (2016). El derecho agrario mexicano y la Constitución de 1917. México: Secretaría de Cultura/Secretaría de Gobernación/Instituto Nacional de Estudios Históricos de las Revoluciones de México/UNAM-Instituto de Investigaciones Jurídicas. Recuperado de <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/9/4452/19.pdf>
- Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM. (s/f). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (1917) y de las reformas publicadas en el Diario Oficial de la Federación del 5 de febrero de 1917 al 1º de junio de 2009. Recuperado de <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/6/2802/8.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2020a). Censo de Población y Vivienda. México: INEGI.
- . (2020b). Marco geoestadístico nacional. México: INEGI.

- (s/f). XI Censo de Población y Vivienda. México: INEGI.
- Kozak, D. (2011). Fragmentación urbana y neoliberalismo global. En: Pradilla, E. (Comp.), *Ciudades compactas, dispersas, fragmentadas* (1ª edición), pp. 13-62). México: Miguel Ángel Porrúa.
- Lefebvre, H. (1991). *The production of space*. Oxford, Reino Unido/Cambridge, Massachusetts: Blackwell Publishing. Recuperado de [https://monoskop.org/images/7/75/Lefebvre\\_Henri\\_The\\_Production\\_of\\_Space.pdf](https://monoskop.org/images/7/75/Lefebvre_Henri_The_Production_of_Space.pdf)
- (2013). *La producción del espacio*. España: Capitán Swing. Recuperado de <https://istoriamundial.files.wordpress.com/2016/06/henri-lefebvre-la-produccion-del-espacio.pdf>
- Lezama, J. (2002). *Teoría social, espacio y ciudad*. México: El Colegio de México-Centro de Estudios Demográficos y de Desarrollo Urbano.
- Liceda, S. N. (2019). Territorio, hábitat y ética. Conceptos interdependientes en la construcción del habitar. *Proyección de Estudios Geográficos y de Ordenamiento Territorial*, 13(25): 6-34. Recuperado de <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/proyeccion/article/view/2250>
- López, L., y Ramírez, V. (2012). Pensar el espacio: Región, paisaje, territorio, y lugar en las ciencias sociales. En: Reyes, M. E., y López, A. F. (Comps.), *Explorando territorios. Una visión desde las ciencias sociales*. México: Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)-Unidad Xochimilco.
- Maffesoli, M. (1998). Sobre el tribalismo. *Estudios Sociológicos*, 6(46): 17-23. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/40420498>
- Medina, A. (2005). *La memoria negada de la Ciudad de México: Sus pueblos originarios*. México: UNAM-IIA/UACM.
- Mertens, D. M. (2005). *Research and evaluation in Education and Psychology: Integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods* (2ª edición). Thousand Oaks: Sage.
- Miles, M. B., y Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook* (2ª edición). Thousand Oaks: Sage Publications.
- Miranda, V. P. (2019). Hábitat y territorio en la producción de la ciudad. *Proyección de Estudios Geográficos y de Ordenamiento Territorial*, núm. 8, pp. 1-5. Recuperado de <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/proyeccion/issue/view/164>
- Moreno, E. (2014). Atenco, a 10 años del movimiento social por el proyecto del aeropuerto. *Análisis sociourbano y político. Estudios Demográficos y Urbanos*, 29(3): 541-578. <https://doi.org/10.24201/edu.v29i3.1471> Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=So186-72102014000300541](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=So186-72102014000300541)
- (2018). El nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México en el ex lago de Texcoco, Estado de México, problemática socioterritorial y ambiental. *CS*, 2(6): 203-235. Recuperado de <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/98880>
- Obeso-Muñiz, Í. (2019). Definir la urbanización periférica. Conceptos y terminología. *Eria, Revista Cuatrimestral de Geografía*, 39(2): 183-206. <https://doi.org/10.17811/er.2.2019.183-206> Recuperado de: <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/52805>
- Programa de Ordenación de la Zona Metropolitana del Valle de México (POZMVM). (2011). Véase Fondo Metropolitano del Valle de México. Recuperado de <http://www.economia.unam.mx/cedrus/descargas/pozmvm.pdf>
- Puebla C. (2002). Del intervencionismo estatal a las estrategias facilitadoras. *Cambios en la política de vivienda en México*. México: El Colegio de México.
- Quintana, J. L. (2019). Territorio, memoria y género: Significados de la participación política de mujeres en Atenco, México. *Ambiente y Sociedad*, núm. 22, pp. 1-18. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0116r1vu-1914a0>. [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1414-753X2019000100325&script=sci\\_abstract&tlng=es](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1414-753X2019000100325&script=sci_abstract&tlng=es)
- Rabotnikof, N. (2011). *En busca de un lugar común. El espacio público en la teoría pública contemporánea*. México: Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Investigaciones Filosóficas.
- Ramírez, B. (2003). La vieja agricultura y la nueva ruralidad: Enfoques y categorías desde el urbanismo y la sociología rural. *Revista Sociológica*, 18(51): 49-72. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/3050/305026632003.pdf>
- Robinson, S. (1998). *Tradición y oportunismo: Las elecciones de consejeros ciudadanos en los pueblos del DF*. México. Distrito Federal: Colección Sábado.

- Rodríguez, H., y Sandoval, M. (2010). Calidad de vida. Los espacios de recreación. Hacia una planeación integral. Delegación Azcapotzalco. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.
- Ruiz, J. (2003). Metodología de la investigación cualitativa. España: Universidad de Deusto. Recuperado de <https://www.redalyc.org/jats-Repo/4763/476358899009/html/index.html>
- Salinas, L. (2014). Política de vivienda y gestión metropolitana en la expansión de la periferia de la ZMCM. Cuadernos Geográficos, 55(2): 217-237. Recuperado de <https://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/3888/5148>
- Schteingart, M., y Patiño, L. (2006). El marco legislativo, programático e institucional de los programas habitacionales. En: Coulomb, R., y Schteingart, M. (Comps.), Entre el Estado y el mercado. La vivienda en el México de hoy. México: UAM-Azcapotzalco/Miguel Ángel Porrúa.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). Estudio de necesidades de infraestructura deportiva y cultural en los municipios perimetrales al PELT. México: Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental.
- Simmel, G. (2013). El conflicto. Sociología del antagonismo. España: Sequitur.
- Téllez, E. I. (2010). El sentido del tejido social en la construcción de comunidad. Polise-mia, núm. 10, pp. 9-23. Recuperado de <https://doi.org/10.26620/uniminuto.polise-mia.6.10.2010.9-23>
- Torres, Z. (2005). La mayordomía como instrumento de resistencia al cambio ante la sociedad. Gazeta de Antropología, núm. 21, pp. 1-6, Recuperado de [https://www.ugr.es/~pwlac/G21\\_11ZairaLorena\\_Torres\\_Lopez.html](https://www.ugr.es/~pwlac/G21_11ZairaLorena_Torres_Lopez.html)
- Vidal, R. (1997). Metrópolis en recomposición: Elementos para una teoría de la fragmentación urbana. Sexto Encuentro de Geógrafos de América Latina. Buenos Aires. Recuperado de <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal6/Geografiasocioeconomica/Geografiaurbana/254.pdf>
- Ziccardi, A. (2015). Cómo viven los mexicanos. Análisis regional de las condiciones de habitabilidad de la vivienda. México: Universidad Nacional Autónoma de México.



# El derecho a la vivienda. Estudio sobre su reconocimiento e interpretación

## *The Right to Housing. A Study on its Recognition and Interpretation*

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i12.211>

**LUZ ILEANA JIMÉNEZ PINEDA**

Universidad de Guadalajara, México. <https://orcid.org/0000-0002-8848-4796>  
Correo electrónico: luzjimenezp@yahoo.com.mx

**MARIDALÍA RODRÍGUEZ PADILLA**

Cátedra UNESCO de Vivienda de la Universidad Rovira i Virgili (URV). <https://orcid.org/0000-0003-2024-3168>  
Correo electrónico: maridalia.rodriguez@urv.cat

Recepción: 29 de octubre de 2021. Aceptación: 24 de marzo de 2022.

### RESUMEN

En este artículo se analiza la efectividad del reconocimiento constitucional del derecho a la vivienda. Primero, se enfoca en un estudio teórico con alcance descriptivo de los modelos de garantía del derecho a la vivienda adoptados a nivel internacional, haciendo referencia a determinadas regulaciones y fallos judiciales que hacen exigible y justiciable el derecho a la vivienda en Latinoamérica y Europa. En segundo lugar, en el último apartado se realiza un análisis causal de datos normativos y estadísticos de ocho países,<sup>1</sup> lo que muestra que el reconocimiento del derecho a la vivienda en todo su significado y su efectividad está relacionado con otros componentes que superan el mero reconocimiento constitucional.

Este trabajo descriptivo ofrece un primer acercamiento hacia los aspectos fundamentales del derecho a la vivienda, principalmente desde la perspectiva jurídica y estructural de la garantía del referido derecho humano. En síntesis, el estudio permite concluir que la aparente constitucionalización del derecho a la vivienda ha sido generalizada; sin embargo, las asimetrías constitucionales que se presentan en los países europeos por ser pioneros en su conceptualización contra la brecha que presentan los países latinoamericanos, se han replicado directamente en el desempeño de la protección del derecho a la vivienda.

Palabras clave: derecho a la vivienda; derechos económicos, sociales y culturales; justiciabilidad; política de vivienda; derecho comparado.

1. Alemania, Ecuador, España, México, Colombia, Países Bajos, Francia y República Dominicana.



## ABSTRACT

This article analyzes the effectiveness of the constitutional recognition of the right to housing. First, it focuses on a theoretical study with a descriptive scope of the models of guarantee of the right to housing adopted at the international level, referring to certain regulations and court decisions that make the right to housing enforceable and justiceable in Latin America and Europe. Second, in the last section, a causal analysis of normative and statistical data from eight countries<sup>2</sup> shows that the recognition of the right to housing in its full meaning and its effectiveness is related to other components that go beyond mere constitutional recognition.

This descriptive article offers a first approach to the fundamental aspects of the right to housing, mainly from the legal and structural perspective of the guarantee of this human right. In summary, the study allows us to conclude that the apparent constitutionalization of the right to housing has been generalized; however, the constitutional asymmetries that are present in European countries as pioneers in its conceptualization versus the gaps presented by Latin American countries have been directly replicated in the performance of the protection of the right to housing.

Keywords: right to housing; economic, social and cultural rights; justiceability; housing policy; comparative law.

## INTRODUCCIÓN

El derecho a la vivienda tiene un reconocimiento consolidado a nivel internacional que encuentra respaldado en el artículo 25 de la Declaración Universal de los Derechos Humanos (Asamblea General de las Naciones Unidas [AGNU], 1948), considerado la piedra angular de su reconocimiento al darle el rango de derecho humano fundamental (Ball, 2015: 91; Kenna, 2006: 27; Simón,

2015: 3). De manera que la vivienda se interpreta como una necesidad humana básica que los Estados deben garantizar. Bajo dicha premisa, la mayoría de Estados han trasladado el compromiso internacional de garantizar el derecho a la vivienda a sus ordenamientos jurídicos internos hasta el nivel jurídico más alto, la Constitución.

No obstante, en la gran mayoría de los casos dicha transposición resulta tan sólo un “principio rector de la política social y económica de los poderes públicos” (Bastida, 2009: 136-138) y no un verdadero derecho subjetivo y justiciable de carácter fundamental, en gran medida debido a que la mayoría de los Estados han encerrado el referido derecho dentro de los derechos económicos, sociales y culturales (en adelante DESC), frente a los derechos civiles y políticos que ostentan una especie de supremacía por su amplia tutela y auténtica justiciabilidad.

De la problemática antes planteada surgen las siguientes interrogantes: ¿qué tan eficiente es el reconocimiento constitucional del derecho a la vivienda? ¿El derecho a la vivienda es un verdadero derecho subjetivo? ¿Pueden los Estados garantizar el derecho a la vivienda de forma más efectiva a través de medios distintos a la Constitución? ¿Cómo inciden la jurisprudencia y resoluciones judiciales en el ejercicio pleno del derecho a la vivienda? ¿Qué factores inciden en la efectividad del derecho a la vivienda? Con este artículo se pretende contribuir a la comprensión de estas preguntas mediante el estudio teórico con alcance descriptivo basado en los distintos modelos de garantía del derecho a la vivienda adoptados a nivel internacional, haciendo referencia a determinadas regulaciones latinoamericanas y europeas.

Asimismo, a lo largo del documento se hace una revisión de los textos constitucionales de diversos países y específicamente en un último apartado se realiza un análisis causal de datos normativos, judiciales y estadísticos de ocho países,<sup>3</sup> los cuales fueron seleccionados por presentar información más clara y homogénea

2. Germany, Ecuador, Spain, Mexico, Colombia, the Netherlands, France and Dominican Republic.

3. Alemania, Ecuador, España, México, Colombia, Países Bajos, Francia y República Dominicana.

respecto de los datos analizados. Dicho estudio comprende la valorización de siete componentes que inciden en la efectividad del derecho a la vivienda, otorgándole una ponderación útil por cada componente.

En el trabajo se ofrecen aproximaciones hacia los aspectos fundamentales del derecho a la vivienda, principalmente desde la perspectiva jurídica y estructural de la garantía del referido derecho humano, que es donde suele quedar atrapada la subjetividad o exigibilidad de cualquier derecho. La simple inserción de este derecho en la Constitución de un Estado no constituye un verdadero derecho subjetivo, ya que su concreción efectiva se encuentra supeditada al sistema legislativo, institucional y privado. De hecho algunas legislaciones secundarias o simples políticas de vivienda pueden resultar más efectivas que el propio reconocimiento constitucional.

Todo lo anterior se vincula con la actividad judicial resultante de los procedimientos instrumentados mediante recursos nacionales e internacionales que someten a controversia el cumplimiento de la garantía constitucional para acceder a la vivienda cuando ésta ha logrado construirse con base en normatividad y políticas enfocadas en asegurar dicha garantía. También se hace una revisión sobre la exigibilidad de los derechos económicos, sociales y culturales (DESC), así como de la jurisprudencia procedente de la resolución de las aludidas controversias y justicia aplicada. Finalmente, nos aventuramos a exponer algunas recomendaciones para que los Estados reconocedores del derecho a la vivienda respondan de manera más efectiva.

## 1. DEL RECONOCIMIENTO INTERNACIONAL A LA CONSTITUCIONALIZACIÓN DEL DERECHO A LA VIVIENDA

El derecho a la vivienda se encuentra ampliamente reconocido en el ordenamiento jurídico internacional (Smart, Algorta, Escudero y Belloq, 2014: 10). Hoy en día, una gran parte de los Estados de todo el mundo se han comprometido por

medio de pactos, tratados y convenciones internacionales, y a través de su legislación nacional, a garantizar el cumplimiento efectivo del derecho a la vivienda digna y adecuada para todos y sin ningún tipo de discriminación.

Partiendo de la consideración de la vivienda como derecho humano, los Estados a lo largo del tiempo han reafirmado su compromiso y consecuente obligación de garantizar el acceso a la vivienda digna al suscribir tratados internacionales como el Pacto internacional de derechos económicos, sociales y culturales (en adelante PIDESC), que mediante su artículo 11, párrafo 1, consagra que “toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado para sí y su familia, incluso alimentación, vestido y vivienda” (AGNU, 1976), reconociendo el derecho humano a una vivienda adecuada como fundamental para el disfrute de todos los derechos económicos, sociales y culturales (en adelante DESC).

El derecho a la vivienda, por su esencialidad, también ha encontrado cabida en la mayoría de las convenciones internacionales relativas a la protección de los grupos vulnerables, como las convenciones y conferencias celebradas por la AGNU relativas a discriminación racial, discriminación contra la mujer, protección a personas con discapacidad, protección a grupos indígenas y los derechos del niño. Desde un plano regional destacan, a nivel europeo, la Carta social europea (1996), que en su artículo 31 se refiere al derecho a la vivienda;<sup>4</sup> la Carta de los derechos fundamentales de la Unión Europea (2010), que hace referencia a las ayudas para la vivienda en su artículo 34; y la Convención Europea de Derechos Humanos (1959), que aunque no hace referencia expresa al derecho a la vivienda, sí lo hace a otros derechos vinculados con la vivienda como la privacidad, la protección de la familia, el domicilio o el disfrute pacífico de los bienes (Figuroa, 2007: 16; Nogueira, 2020: 126; Ponce, 2017: 84).

A nivel latinoamericano destacan la Declaración Americana de los Derechos y Deberes del

4. La Carta social europea fue revisada en 1996 y actualiza el contenido de la Carta de 1961.

Hombre,<sup>5</sup> que mediante su artículo 11 enmarca la vivienda entre las medidas sanitarias y sociales que los Estados deben proteger para preservar la salud de las personas (Comisión Interamericana de Derechos Humanos [CIDH], 1948); y la Convención Americana de Derechos Humanos “Pacto de San José, Costa Rica” que mediante su artículo 26 compromete a los Estados partes a adoptar medidas que garanticen de forma progresiva la efectividad de los derechos que deriven de las normas económicas, sociales y sobre educación, ciencia y cultura, contenidas en la Carta de la Organización de los Estados Americanos (Organización de los Estados Americanos [OEA], 1969). Las mencionadas disposiciones se encuentran integradas, además, en la Nueva Agenda Urbana aprobada en la Conferencia sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible, Hábitat III, que compromete a los Estados partes a crear políticas públicas de vivienda que respalden el derecho de acceder a una vivienda adecuada (AGNU, 2016).

Cabe destacar lo señalado por el Comité de las Naciones Unidas de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, en su Observación general núm. 4 del año 1991, sobre el derecho a una vivienda adecuada que señala que los Estados deberán garantizar que las viviendas ofrecidas a la población cumplan cuando menos con siete componentes como mínimo indispensable: 1) seguridad jurídica de la tenencia, dado que todas las personas deben gozar de cierto grado de seguridad que garantice una seguridad legal; 2) disponibilidad de servicios, materiales, facilidades e infraestructura, ya que debe contener ciertos servicios indispensables; 3) gastos soportables, éstos no deben comprometer el logro y la satisfacción de otras necesidades esenciales; 4) habitabilidad, al ofrecer un espacio adecuado a sus ocupantes; 5) asequibilidad, ya que debe ser posible y asequible; 6) lugar de la vivienda, pues debe estar ubicada en un lugar que permita el acceso a las opciones de empleo, servicios de salud, centro de atención, etc., y 7) adecuación cultural, debido a que la construcción de la vivienda debe apoyar

la identidad cultural (Comité de los Derechos Económicos, Sociales y Culturales [CDESC], 1991).

Por su parte, la Observación general núm. 7 sobre desalojos forzosos ofrece una relación de las características con las que se ha construido el derecho a la vivienda y definido los elementos que los Estados deben asegurar para garantizar la vivienda digna y adecuada. Podría considerarse un refuerzo de la seguridad de la tenencia contemplada en la Observación núm. 4, y destacan ciertas garantías procesales que deben recibir los titulares del derecho a la vivienda frente a un proceso de desalojo forzoso, entre éstas: a) una auténtica oportunidad de consultar a las personas afectadas; b) un plazo de notificación del desalojo suficiente y razonable; c) previa información sobre los desalojos previstos; d) presencia de las autoridades; e) identificación de las personas que efectúen el desalojo; f) no efectuar desalojos cuando haga muy mal tiempo o de noche; g) disponibilidad de recursos jurídicos, y h) ofrecer asistencia jurídica a las personas que necesiten pedir reparación a los tribunales (CDESC, 1997).

De las características de la vivienda adecuada antes señaladas, se concluye que los Estados que reconocen este derecho deben garantizar: a) cierto grado de seguridad de la tenencia de la vivienda, especialmente respecto a los desalojos forzosos, para lo que se recomienda garantía del proceso, evitar la acción de evacuación cuando las medidas se consideran variables, así como disponer de medios de reubicación; b) que las viviendas dispongan de acceso a los servicios esenciales (públicos o privados); c) un costo posible y asumible, pues el precio de la vivienda debe ser accesible para todos (lo que se puede lograr con subsidios públicos o vivienda social); d) una estructura mínima (controles de habitabilidad o revisión periódica sobre la utilidad de la vivienda); e) posible para todos los sujetos de derecho (indistintamente de su forma de tenencia); f) bien ubicada (en respeto al derecho a la ciudad, a la inclusión y la cohesión territorial), y g) coherente con la identidad cultural. De lo anterior, que las leyes internas y políticas de vivienda que adopten los Estados han de ir encaminadas a

5. Documento generado por la IX Conferencia Internacional Americana.

asegurar la protección de los mencionados elementos (Kenna, 2011: 517; Simón, 2015: 4).

De tal manera que en el plano internacional el derecho humano a la vivienda es el derecho de toda persona a disfrutar de un lugar dotado de las condiciones necesarias para vivir en paz y dignidad junto a la familia. Algunos autores detallan que consiste en “el derecho de toda persona a acceder a un hábitat en el que pueda desarrollar su vida habitual conforme a su dignidad personal” (De los Ríos, 2008: 130). La vivienda cumple principalmente la función social de proveer un lugar para vivir en condiciones de seguridad y dignidad, y que, según Velázquez de la Parra, es aún más amplio al constituir “el resguardo del hombre y la familia, y la plataforma para su desenvolvimiento que hace posible su progreso individual y colectivo” (Ruiz, 2019: 420-425).

En respuesta al compromiso internacional, poco a poco se ha extendido y ubicado el derecho a la vivienda en los textos constitucionales con sus múltiples variantes. De acuerdo con De los Ríos (2008: 13), hasta finales del siglo XX prosperó un progresivo reconocimiento constitucional del derecho a la vivienda en Europa, Latinoamérica y Oriente. Aunque no ha sido fácil, existen países que se han esforzado por armonizar los tratados internacionales relativos a los derechos humanos con las normas constitucionales. Un ejemplo es la Constitución sudafricana de 1996 que, si bien no se diferencia del resto de Constituciones de todo el mundo instauradas a la luz de un Estado social constitucional, incluye elementos como la justiciabilidad, la imposición al Estado de obligaciones afirmativas y el pronunciamiento activo de las Cortes respecto a los derechos socioeconómicos, que han hecho destacar el derecho a la vivienda al asemejarse a un verdadero derecho fundamental (Brand, 2009: 480).

Otro esfuerzo destacable se encuentra en la Constitución Política de la República de Ecuador (2008), la cual fue la primera en normalizar y constitucionalizar el derecho a la vivienda correlacionado con el hábitat, albergando un concepto mucho más amplio que brinda contenido al referido derecho. Lo anterior deja claro que el

derecho a la vivienda es más que poder disponer de un lugar para vivir, “es que este lugar ofrezca las condiciones físicas y los factores biológicos del entorno en los que la vida humana sea posible para la persona y la comunidad cultural a la que pertenezca” (Ávila, 2012: 100).

Entre las Constituciones revisadas resulta complejo encontrar una definición delimitada de lo que es una vivienda o del contenido del propio derecho a la vivienda. De acuerdo con las valoraciones de Rugiero (2000: 70-76), para entender el concepto de la vivienda habría que interpretarlo desde al menos seis enfoques. Primero, como “valor social” donde se procura equidad y oportunidad de vivienda para todos. Segundo, como “objeto” una estructura física que satisface necesidades biológicas y sociales. Tercero, como “satisfactor de necesidades”, especialmente de las necesidades primarias relacionadas con el desarrollo personal y familiar, sobre lo que se fundamenta la prioridad de los grupos económicamente vulnerables. Cuarto, como “un proceso” relacionado con el diseño y construcción del hábitat en el que intervienen varios agentes (sector público, privado y usuarios), los que sin duda influyen en el contenido del concepto de la vivienda y en el propio derecho. Quinto, como “sistema”, relacionado con lo comunitario y espacial, llegando a abarcar aspectos multidisciplinarios como territorio, comunicación, servicios, infraestructura, urbanización o equipamientos sociales disponibles y regulaciones que funcionan en armonía. Y sexto, como “género de vida”, relacionado con la identidad, el arraigo o pertenencia al grupo, pues la vivienda constituye el hábitat del hombre y el espacio que éste adecua para su existencia.

El reconocimiento del derecho a la vivienda no implica necesariamente la propiedad de la misma, pues una vivienda adecuada debería poder disfrutarse en una amplitud de formas de tenencia. La doctrina ha demostrado la necesidad de equilibrar la balanza entre las diferentes formas de acceso a la vivienda, ya que se puede lograr por distintas vías (Galiana, 2018: 42; López Ramón, 2010: 18; Simón, 2018: 64). Por ejemplo,

Nasarre (2020: 519) ha insistido en la diversificación de las formas de tenencia, e incluso en la posibilidad de una adquisición progresiva de la vivienda para poder satisfacer el derecho a la vivienda junto con el derecho a la propiedad, que es aspiración de muchos.

El derecho a la vivienda y el derecho a la propiedad son dos derechos distintos, que en muchos casos comparten el rango constitucional; por ejemplo, en las Constituciones de España,<sup>6</sup> República Dominicana,<sup>7</sup> México,<sup>8</sup> Ecuador<sup>9</sup> y Alemania<sup>10</sup> se reconocen ambos derechos. Es importante destacar que el derecho a una vivienda adecuada es más amplio que el derecho a la propiedad, pues entraña una relación indivisible con otros derechos como el trabajo, la salud, la seguridad social, el voto, la privacidad y la educación, abarcando también a las personas que no son propietarias (Naciones Unidas, 2010: 8). Incluso algunos autores señalan la vinculación del derecho a la vivienda con la libertad de residencia y movimiento, con el derecho al matrimonio y a la fundación de una familia (De los Ríos, 2008). Para algunos autores la diferencia entre ambos derechos también puede encontrarse en que el derecho a la vivienda es un derecho de prestación, mientras que el derecho a la propiedad es un derecho de libertad (Ruiz, 2019: 423). En el derecho a la propiedad el Estado tiene una responsabilidad pasiva, de abstenerse y respetar; pero en el derecho a la vivienda asume un encargo activo, el de realizar acciones que permitan garantizar tal derecho.

De los Estados estudiados podemos ver cómo algunos incluso desde el rango constitucional

han traducido o asimilado el derecho a la vivienda al derecho a la propiedad. El artículo 119 de la Constitución de El Salvador (2003) establece que “el Estado procurará que el mayor número de familias salvadoreñas lleguen a ser propietarias de su vivienda”. Una interpretación muy similar se puede encontrar en la Constitución de Guatemala, artículo 119, literal g (1993), aunque haciendo la salvedad de que cuando se trate de viviendas emergentes o en cooperativa, el sistema de tenencia podrá ser diferente. La Constitución Dominicana, en su artículo 59 (2015) también hace referencia a la propiedad de la vivienda, aunque podría interpretarse que el objetivo es orientar las políticas de vivienda a la regulación de la titulación de la vivienda. De igual modo, esta predilección por la propiedad para satisfacer el derecho a la vivienda puede encontrarse en la Constitución del Estado Federal de Berlín, que en su artículo 28.1 (1995) encarga al Estado la garantía del acceso a la propiedad privada de las viviendas.

Es importante mencionar que las obligaciones internacionales contraídas no necesariamente suponen su constitucionalización. No obstante lo anterior, España, Alemania, Ecuador, México, Colombia, Países Bajos, República Dominicana y más de 100 Estados a nivel mundial (Golay y Özden, 2007: 3) mantienen incorporado el derecho a la vivienda en su Ley fundamental, aunque sólo una minoría de éstos ha logrado la consolidación esperada respecto de la responsabilidad del Estado frente a este derecho. Lo anterior se debe a que como señala Bastida (2009: 136-138), el sólo reconocimiento constitucional de un determinado derecho no implica su consideración de fundamental, como pasa con el derecho a la vivienda que, a pesar de encontrar cabida en un importante número de Constituciones, carece de la verdadera esencia fundamental que compone un derecho.

De tal manera que la constitucionalización de los derechos sociales en algunos casos no tiene otra función más que la de generar falsas expectativas a la sociedad de que verá cumplidos los elementos básicos para su subsistencia (Brand,

6. En su artículo 33 reconoce el derecho a la propiedad privada (Constitución Española, 1978).

7. De acuerdo con el artículo 51, el Estado reconoce el derecho a la propiedad privada, la cual tiene una función social que implica obligaciones (Constitución de la República Dominicana, 2015).

8. El artículo 27 establece que el Estado pondrá el dominio de la propiedad a los particulares, constituyendo así la propiedad privada (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 1917).

9. El artículo 66.26 reconoce y garantiza a todas las personas el derecho a la propiedad en todas sus modalidades (Constitución de la República de Ecuador, 2008).

10. El artículo 14 reconoce el derecho a la propiedad y su contenido y límites están determinados por las leyes (Ley Fundamental de la República Federal de Alemania, 1949).

2009). Al respecto, Riquelme (2020: 167), en alusión a la legislación española, señala que aunque no se ha llegado a considerar el derecho a la vivienda como un derecho fundamental, sí se ha considerado un “principio rector, un derecho social y económico, un derecho humano y un derecho prestacional”, por lo que deben quedar claras las obligaciones específicas que recaen sobre los poderes públicos, puesto que de lo contrario se trataría de un contenido vacío, independientemente de su rango constitucional.

Por tanto, la constitucionalización del derecho a la vivienda hasta el momento no supone una diferencia significativa respecto a la regulación ordinaria. Un ejemplo en el cual se aprecian avances más profundos en cuanto a la construcción del derecho subjetivo a la vivienda en normas secundarias es la Ley francesa *Droit Au Longent Opposable* (Ley de Derecho exigible, popularmente conocida como Ley DALO), que en comparación con otros Estados tiene un mayor alcance que el mero reconocimiento constitucional que no se identifica en la Constitución francesa.

## 2. LA OBLIGACIÓN DEL ESTADO RECONOCEDOR DEL DERECHO A LA VIVIENDA

Como se ha dicho, el reconocimiento internacional o el mero señalamiento constitucional del derecho a la vivienda no satisfacen por sí solos las obligaciones internacionales adquiridas por el Estado reconocedor del referido derecho. Por ello, el artículo 11, párrafo primero, del PIDESC aclara que los Estados partes deben tomar medidas para asegurar la efectividad del derecho a la vivienda, lo que a la luz del artículo 2 del referido instrumento supone que deben emplear “todos los medios apropiados” para su promoción y garantía (AGNU, 1976).

De acuerdo con Naciones Unidas, las obligaciones de los Estados respecto al derecho a la vivienda suelen ser principalmente de tres tipos (Naciones Unidas, 2010: 35): de respetar, de proteger y de realizar acciones que garanticen

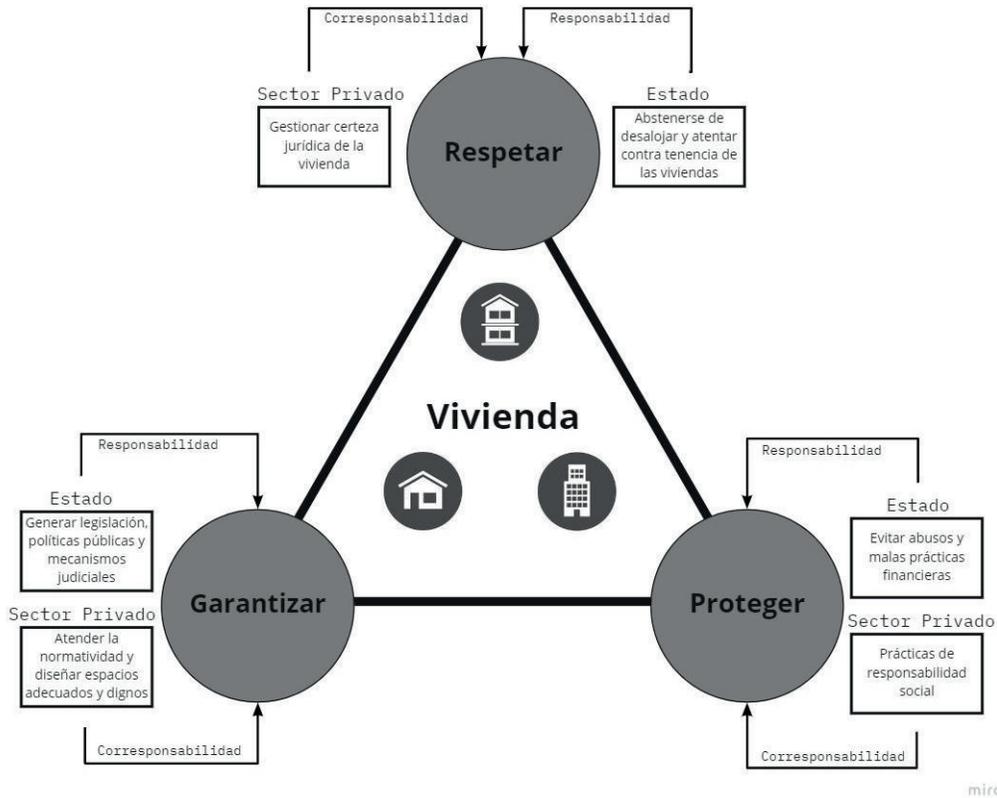
el referido derecho. La obligación de respetar se refiere a las abstinencias que debe cumplir el Estado respecto al derecho a la vivienda, como sus limitaciones de intrusiones directas o indirectas, por ejemplo, a efectuar desalojos forzosos o atentar contra la seguridad de la tenencia. La obligación de proteger se interpreta como la de impedir intromisiones de terceros en el derecho a la vivienda, por ejemplo, abusos o incumplimientos normativos de los actores privados (promotores inmobiliarios, arrendadores, entidades financieras, empresas de servicios básicos, etcétera).

En cuanto a la obligación de realizar, que podría ser la más compleja por concernir a los distintos poderes del Estado, se refiere a las medidas legislativas, administrativas, presupuestarias y judiciales aplicadas para garantizar la efectividad del derecho a una vivienda. Dentro de esta última se pueden enmarcar a su vez las políticas públicas, el plan de vivienda nacional y los planes de subsidios públicos para la vivienda social (Naciones Unidas, 2010: 36). De acuerdo con esta última obligación, el Estado debe realizar acciones que garanticen que toda persona tenga acceso a una vivienda, así sea de manera atemporal, y en caso de verse limitado a cumplir dicha obligación por razones económicas deberá recurrir a la cooperación internacional, de lo que deriva la obligación de responder por parte de los Estados más ricos frente al llamado de cooperación de los Estados más pobres (Golay y Özden, 2007: 24). En la figura 1 se presentan esquematizadas las principales obligaciones de los Estados respecto al derecho a la vivienda correlacionadas con las obligaciones de agentes privados que intervienen en el desarrollo del referido derecho.

De acuerdo con Gialdino (2003: 102-107), la obligación de realizar que recae sobre los Estados vinculados a determinados acuerdos internacionales, como por ejemplo el PIDESC en su artículo 2, es la que requiere una mayor intervención de la administración, pues dicha obligación presenta tres perspectivas diferentes: “la de facilitar, la de hacer efectivo y la de promover” dichas acciones (AGNU, 1976). Desde estas perspectivas los Estados deben en primer lugar brindar los

FIGURA 1

Esquema de las obligaciones de los Estados respecto al derecho a la vivienda



Fuente: propia de las autoras.

instrumentos jurídico-políticos necesarios para asegurar los derechos a los que se han comprometido. En segundo lugar, deben realizar acciones directas para garantizar el disfrute de dichos derechos a quienes aun disponiendo de determinados instrumentos jurídico-políticos, les resulte imposible disfrutar de los mismos. Un ejemplo vinculado a la vivienda, podrían ser los subsidios públicos, pues aunque la mayoría de los Estados disponen de normas regulatorias del mercado residencial, no todos los ciudadanos pueden resolver sus problemas de vivienda y por tanto ejercer su derecho a la vivienda sin intervención directa del Estado. Y en tercer lugar, deben llevar a cabo una serie de actividades que fomenten el desarrollo de dichos derechos (investigación, formación, información y apoyo).

En lo que respecta a las medidas legislativas, las Naciones Unidas, mediante la Observación general núm. 3 en su artículo 2 (CDESC, 1990) ha

señalado que, aunque estas medidas en ocasiones pueden considerarse muy deseables e incluso indispensables, sobre todo cuando se carece de una base jurídica sólida, por sí mismas no agotan las obligaciones de los Estados partes, pues si bien éstos tienen la libertad de elegir los medios para el cumplimiento de los compromisos asumidos, sus acciones deben estar bien fundamentadas y justificadas. De manera que las medidas legislativas deben ir acompañadas de certeza jurídica respecto a la justiciabilidad de los derechos a los que dan lugar, y más aún en los Estados donde se han constitucionalizado estos derechos, pues para asegurar la efectividad del derecho a la vivienda deberá quedar claro su nivel de garantía judicial.

El reconocimiento del derecho a la vivienda por medio de instrumentos internacionales implica una serie de obligaciones pasivas (de abstención) y activas (de proteger y realizar). De manera que no es suficiente con que los Estados

se abstengan de ciertas injerencias, pues éstos deben actuar, especialmente a través de la aplicación de medidas administrativas, legislativas y judiciales, para poder garantizar la efectividad de dicho reconocimiento. Los Estados que han ratificado acuerdos internacionales como el PIDESC se encuentran obligados a tomar medidas de manera inmediata, aunque progresivas, que por todos los medios posibles garanticen el derecho a la vivienda.

No obstante, estas aparentes obligaciones son resultado de los compromisos de los Estados partes (Espínola, 2010: 38 y 39), debido al término “progresivo” y las diferencias de desarrollo y disposición económica entre los países vinculados al PIDESC, se han traducido en obligaciones de medio (Ponce, 2017: 77). Es el mismo carácter progresivo de las medidas que deben tomar los Estados para garantizar el derecho a la vivienda, el que ha sentado el principio de no regresividad, que prohíbe tomar medidas normativas o administrativas que disminuyan los avances alcanzados por los DESC. Así, los Estados no pueden retroceder respecto a la protección del derecho a la vivienda, sino avanzar de manera paulatina hacia su garantía plena (Sepúlveda, 2006: 124).

El Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales supervisará el cumplimiento de este pacto, y por tanto que los Estados partes apliquen medidas que garanticen la efectividad de los DESC, entre los que se encuentra el derecho a la vivienda. En los casos en que los Estados partes incumplan sus obligaciones se permite, con amparo en el protocolo facultativo del PIDESC y previo el agotamiento de los recursos internos, que individuos o grupos de personas eleven a dicho comité reclamaciones relativas a la violación de los derechos reconocidos en el PIDESC (CDESC, 2013). No obstante, siguen sin producirse los efectos deseados debido a la carencia de la acción judicial internacional requerida en materia de vivienda (Simón, 2015: 32). La obligación de establecer medidas para asegurar la progresividad del derecho a la vivienda constituye un concepto amplio que, si bien se podría entender flexible, es más bien ambicioso e invita a los Estados a

explorar medios novedosos para el cumplimiento de sus obligaciones.

En la actualidad persiste la errónea interpretación de que “el deber del Estado respecto al derecho a la vivienda es construir vivienda para toda la población” (Naciones Unidas, 2010: 6). No obstante, el verdadero compromiso consiste en garantizar el establecimiento de políticas públicas de vivienda (Pisarello, 2009a: 9; García, 2014: 29) que promuevan de manera efectiva el acceso a unidades habitacionales dignas (Abramovich, 2006: 36; Bocardo, Espinosa, Fibla, Reyes y Valenzuela, 2018: 47; Comisión Interamericana de Derechos Humanos, 2007: 3). Los gobiernos no tienen la obligación de conceder viviendas gratuitas a cada ciudadano (Guillén, 2012: 88 y 89), más que proveer viviendas, deben asegurar que existan las condiciones necesarias para que todos puedan acceder a una y asegurar la existencia de instituciones estatales que atiendan los distintos problemas de vivienda (Pacheco, 2019: 140).

Queda claro que los Estados reconocedores del derecho a la vivienda tienen la obligación de respetar como Estado este derecho, protegerlo frente a terceros y de realizar acciones directas que aseguren su efectividad. Deben tomar medidas apropiadas para garantizar el acceso a la vivienda adecuada, poner a la disposición de los titulares del derecho a la vivienda los medios para su defensa, garantizar un desarrollo progresivo no regresivo y destinar los máximos recursos (humanos, institucionales, económicos) posibles a la garantía de tales derechos, incluyendo los puestos a disposición por las comunidades internacionales. Finalmente, los Estados también tienen la obligación de rendir cuentas sobre sus actuaciones en favor del derecho a la vivienda, explicar a los organismos internacionales y a la sociedad civil qué medidas se están tomando para garantizar este derecho y por qué han optado por éstas.

### 3. DERECHO A LA VIVIENDA Y POLÍTICAS PÚBLICAS

Las medidas adoptadas por los Estados en cumplimiento de sus obligaciones internacionales, entre éstas la de garantizar el derecho a la vivienda, guardan una especial relación con la viabilidad, exigibilidad y justiciabilidad del referido derecho, pues por su propia naturaleza dicho derecho depende de los recursos de cada Estado (Figueroa, 2007). No obstante, es justamente la falta de recursos uno de los principales obstáculos que impide a los Estados el cumplimiento efectivo respecto a la garantía del derecho a la vivienda. Sin embargo, ello no le libera de sus obligaciones de acuerdo con las Directrices de Maastricht sobre las violaciones de los DESC (1977). El Estado debe demostrar que ha recurrido a todos los recursos a su disposición, lo que en dado caso le permitirá más tiempo para el cumplimiento de sus obligaciones, y no su exoneración (CDESC, 1990).

La experiencia internacional ha demostrado que existen medidas, especialmente de corte legislativo, acordes con la realidad económica y social de cada Estado, que pueden resultar muy apropiadas para la protección del derecho a la vivienda y suponer a su vez gastos mínimos. Por ejemplo, la Ley de Reserva de Suelo para Vivienda Social en España, las alianzas público-privadas para el desarrollo de viviendas de bajo costo en la República Dominicana, o la cesión de uso de los países escandinavos como Dinamarca. En relación con los Estados estudiados, podemos señalar que aquellos en los que se dedica un porcentaje significativo del PIB para la vivienda se puede observar un mayor progreso del derecho a la vivienda, frente a los que no contemplan la vivienda dentro de su partida presupuestaria de manera significativa, como es el caso de Francia y Países Bajos, que destinan más del 1,3% de su producto interno bruto a vivienda y su desarrollo económico les ha permitido aumentar la proporción del gasto público en protección del derecho a la vivienda, lo que se ve reflejado en un déficit de vivienda menor al 1,3% (Eurostat, 2018).

Las políticas de vivienda han servido como instrumento auxiliar, en la mayoría de los Estados consultados, para dar cumplimiento a los mandatos constitucionales relativos al derecho a la vivienda. Los poderes públicos se han servido tanto de leyes generales como de ordenanzas puntuales para atender a su deber de garantizar el derecho a la vivienda, aunque no siempre con muy alto grado de eficacia. Estas políticas se desarrollan por medio de distintos instrumentos en pro de asegurar el acceso a una vivienda digna o corregir los fallos del mercado. De acuerdo con Leal y Martínez (2017: 24 y 25), en todo el mundo las políticas de vivienda suelen inclinarse hacia el desarrollo de viviendas protegidas, el alquiler social, los subsidios para la vivienda, la protección de los consumidores hipotecarios, la regulación del suelo y los incentivos fiscales relativos a la adquisición o producción de la vivienda. De manera que las políticas de vivienda se forman del conjunto de actuaciones realizadas por las autoridades competentes a través de diferentes instrumentos, en la actualidad exiguos para atender los diferentes tipos de demandas o las nuevas necesidades de vivienda de la población más vulnerable como los jóvenes, los mayores, los inmigrantes o los más pobres (Leal y Martínez, 2017: 15).

No obstante lo anterior, del estudio realizado destaca que la política de vivienda aplicada en la mayoría de los Estados constitucionalizadores del derecho a la vivienda, y en especial en los Estados latinoamericanos, existe una marcada preferencia por la aplicación de medidas absolutas que por lo general sólo satisfacen una parte de la demanda de vivienda. Por ejemplo, la tendencia a impulsar únicamente la vivienda en propiedad, frente a otras formas de acceso a la vivienda como el alquiler, la opción a compra o las tenencias intermedias con las que se podría llegar a satisfacer un sector más amplio de la población demandante de vivienda, tal y como lo han hecho una gran parte de los países del norte de Europa basados en programas de viviendas sociales y ayudas asistenciales (Leal, 2009: 499; Molina, 2018: 399).

#### 4. LAS GARANTÍAS DEL DERECHO A LA VIVIENDA

Los Estados han hecho una clara distinción entre los derechos civiles y los derechos sociales; dentro de estos últimos se ha enmarcado el derecho a la vivienda en la mayoría de los Estados que reconocen constitucionalmente este derecho. Los derechos civiles y políticos han adquirido un carácter de supremacía sobre los derechos económicos, sociales y culturales, considerándose los primeros ampliamente tutelados y auténticamente exigibles (Pisarello, 2003: 29) en relación con los segundos. De acuerdo con Hierro (2009: 171 y 172), la división entre unos derechos y otros se ha basado históricamente en una relación de diferencias relativas al sujeto titular de los derechos, su contenido y la posibilidad de su garantía. Es sobre la mencionada relación diferencial que se ha construido la muy arraigada distinción entre derechos individuales y derechos sociales, estos últimos considerados derechos imperfectos debido a la amplitud de su contenido y universalidad.

Los DESC se han clasificado como derechos de segunda generación, impidiendo esta jerarquía su eficacia frente a otros derechos considerados superiores o prioritarios. Uno de los fundamentos principales de la distinción entre los mencionados grupos de derechos lo constituye el costo que supone su efectividad (Carmona, 2017: 1211), pues mientras los derechos civiles y políticos son considerados relativamente económicos, los DESC son tildados de altamente costosos (Gialdino, 2003: 90 y 91). Un argumento debatido por la doctrina al considerar que determinados derechos civiles y políticos como, por ejemplo, la propiedad o el voto, también conllevan un gasto público considerable, pues sostener un sistema de registro de la propiedad u organizar elecciones periódicamente y subsidiar a los partidos políticos imponen una carga significativa al arca pública (Ponce, 2017: 87; De los Ríos, 2008: 127-147).

De acuerdo con Ponce (2017: 72), es acertada la constitucionalización de los derechos sociales, pero su garantía debe resultar verdaderamente protegida por el propio texto constitucional.

Además del reconocimiento de los DESC, dentro del contenido de la Constitución de un Estado, hace falta su consolidación como auténticos derechos subjetivos. Es necesario pasar de la simple consideración de los derechos sociales como derechos simbólicos no justiciables, a diferencia de los derechos civiles y políticos, a su consideración como plenos derechos subjetivos (Abramovich y Courtis, 2009: 4). Los tratados que abogan por los derechos humanos justamente vienen luchando por eliminar la marcada separación entre los derechos civiles y los sociales al considerarlos derechos interdependientes (Naciones Unidas, 2009).

Tomando en consideración las aportaciones de Abramovich y Courtis (1997, 2009), la distinción entre los derechos civiles y los sociales históricamente se ha arraigado en las obligaciones negativas (por ejemplo, no restringir la libertad de expresión o violar la correspondencia) propias de los derechos civiles y políticos, y las obligaciones positivas (por ejemplo, prestaciones de salud, educación y vivienda) propias de los derechos sociales y económicos. Es que para los defensores de la tradicional división de los derechos constitucionales, las obligaciones negativas suponen un esfuerzo mínimo de abstención por parte del Estado, lo que no es posible para el cumplimiento de las obligaciones positivas sujetas a la disposición de fondos públicos. No obstante, lo cierto es que ambos grupos de derechos suponen obligaciones negativas y positivas que conllevan el esfuerzo de abstención o cesación del Estado para asegurar su garantía o efectividad. Por tanto, “no existen diferencias sustanciales entre las obligaciones correspondientes a derechos civiles y derechos sociales” (Abramovich y Courtis, 1997, 2009; Carbonell, 2009: 72; Pisarello, 2003: 29 y 30).

La predilección por la efectividad de las obligaciones pasivas del Estado era comprensible en la época de opresión estatal, pero tras el modelo constitucional de Estado social de derecho ha quedado muy clara la necesidad de concebir el Estado como promotor de los derechos constitucionales y por ende dar primacía a las obligaciones activas propias de prácticamente todo el conjunto de los derechos constitucionales (Car-

bonell, 2009: 63). Es preciso aclarar que no se trata de que el Estado asuma un rol legislativo, sino de que determinados derechos y libertades permanezcan tutelados al amparo de sus acciones. Las obligaciones constitucionales del Estado han evolucionado, por lo que ya no es suficiente con la mera abstención de interferir en el ámbito de determinados derechos y libertades, sino que hace falta que “haga algo” respecto de éstos (Alexy, 2009: 50).

Los Estados, apoyados en la propia Observación general núm. 4 de las Naciones Unidas, podrán delimitar grupos de prioridad para el cumplimiento de ciertas obligaciones internacionales, como las relativas al derecho a la vivienda. Especialmente cuando las limitaciones del Estado sean por falta de recursos, pudiendo delimitar grupos de preferencia a razón de su extrema necesidad o vulnerabilidad, como pueden ser las mujeres víctimas de violencia de género, los ancianos, los jóvenes recién emancipados o las personas con discapacidad y sin recursos.

En definitiva, de las políticas públicas aplicadas a vivienda se espera una garantía de las necesidades básicas esenciales (Ruipérez, 2014: 42; Kenig-Witkowiak, 2015: 87), que las autoridades públicas organicen programas públicos de viviendas, dicten medidas que salvaguarden los derechos (Escobar, 2016: 460 y 461) de los más desprotegidos, como el caso de los sin techo (Alonzo, 2010: 232), prohíban los desalojos forzosos sin el adecuado seguimiento procesal, garanticen la seguridad de la tenencia, y asistan a aquellas personas de bajos ingresos o nula posibilidad de acceso a la financiación bancaria (Rodríguez, 2021).

## 5. ¿EL DERECHO A LA VIVIENDA ES UN DERECHO SUBJETIVO?

A nivel mundial existe una generalización constitucionalizadora del derecho a la vivienda. Prácticamente se ha reconocido de manera directa en la gran mayoría de Estados, siendo Alemania uno de los primeros en darle un rango constitucional

y, salvo casos excepcionales, como Chile,<sup>11</sup> Italia<sup>12</sup> y Perú<sup>13</sup> que tienen un reconocimiento indirecto a través de sus leyes ordinarias, y particularmente Francia en donde más que un derecho constitucional se trata de un objetivo que puede considerarse verdaderamente tutelado, aunque con sus debilidades, al amparo de la Ley DALO.<sup>14</sup> No obstante, la problemática habitacional de la que actualmente no escapa ningún Estado demuestra que la mera equiparación a un derecho fundamental no es suficiente (Nasarre, 2017: 66).

Al margen de la diversidad de fuentes filosóficas, Gomes (2010); Aláez (2011) y Oren, Alterman y Zilbershats (2014) realizan una caracterización de las dimensiones jurídicas del reconocimiento del derecho a la vivienda, agrupándolos en tres modelos: i) como derecho social fundamental o directo, en el sentido de ser defendido contra injerencias o intervenciones del Estado y demás poderes públicos; ii) como un fin del Estado/principio rector de la política social y económica o incorporado, ya que corresponde al Estado y a todas las entidades públicas asegurar la organización, procedimiento y procesos de realización del derecho a la vivienda, y iii) como un derecho indirecto o difuso, garantizado a través de otros derechos fundamentales, de otros bienes u de otros objetivos de valor constitucional.

Siguiendo las dimensiones jurídicas mencionadas, y basados en el estudio de las normas constitucionales, se observa que Estados como Bolivia, Ecuador, Paraguay, Reino Unido y Uru-

11. Pese a que la Constitución chilena no hace mención expresa del derecho a la vivienda, su artículo 5, relativo al reconocimiento de la soberanía y sus limitaciones, respeto de los derechos esenciales que emanan de la naturaleza humana, ha valido para proteger el derecho a la vivienda (Constitución de Chile, 1980).
12. En la Constitución italiana no existe un reconocimiento directo del derecho a la vivienda, pero la conexidad con otros derechos permite extraer una serie de garantías relacionadas con las necesidades habitacionales de la población.
13. La Constitución peruana, que desde la reforma de 1993 ha prescindido del referido derecho en rango constitucional. Aunque se han presentado diversos intentos de volver a introducir el derecho a la vivienda a la Constitución peruana, no se ha tenido éxito.
14. En Francia, la Ley 2007-290, Droit Au Logement Opposable (DALO) et portant diverses mesures en faveur de la cohésion sociale, puede traducirse como “Derecho eventualmente exigible y que lleva a cabo diversas medidas a favor de la cohesión social”.

guay le han dado a la vivienda una dimensión de derecho social fundamental, con la apariencia de haber logrado un derecho subjetivo a la vivienda digna, pero que en realidad engloba tan sólo una responsabilidad simbólica ya que los mecanismos para su justiciabilidad no han logrado ser efectivos. Se debe indagar más sobre las razones transversales que inciden en el cumplimiento de este derecho, las cuales están vinculadas a factores específicos como el tipo de Estado —federal o unitario— en quien recae la responsabilidad del cumplimiento de las obligaciones constitucionales, el tipo de tenencia predominante e incluso el gasto público que realizan los gobiernos en materia de vivienda en relación con el producto interno bruto y que en algunos casos puede llegar a deducir el poco interés que tienen algunos países por garantizar el derecho a la vivienda. Esto ocurre en países como Uruguay y República Dominicana, en donde la inversión pública en vivienda hasta 2016 fue inferior al 0,5% de su PIB (Armendáriz, Carrasco, Galindo y Rodríguez, 2019).

En el modelo de garantía como principio rector de la política social y económica, no se exige una prestación concreta por parte de la administración del Estado respecto a la efectividad del derecho a la vivienda, puesto que la garantía de dicho derecho queda sujeta a las políticas presupuestarias de los poderes públicos. La mayoría de los Estados que engloban al derecho a la vivienda dentro de este modelo de garantía, le han dado el rango de derecho “programático”, que meramente orienta a los poderes público hacia un determinado sentido, por lo que no puede considerarse como un verdadero derecho fundamental (Nasarre, 2020: 499 y 500). De manera que el derecho a la vivienda desarrollado a través del principio rector de la política social sólo es posible mediante establecimiento de políticas públicas, a la toma de medidas presupuestarias y a la emisión de leyes que garanticen su efectividad. De acuerdo con las constituciones revisadas, países como Italia, Finlandia, Polonia y Portugal siguen este modelo constitucional.

Se trata pues de un derecho que no tiene fuerza vinculante por sí solo, pero que posee cierta relevancia jurídica al considerarse un precepto de optimización y que puede cumplirse en diferentes niveles (Alexy, 2009 y Cascajo, 2009) caracterizado por no ser exigible sin una reglamentación previa. Entonces, la fuerza normativa de estos ordenamientos en materia de vivienda depende no solo de una premisa imperativa, sino también de concretar el programa jurídico-constitucional, a través de legislación secundaria bien definida —sea con una ley especializada en vivienda, o bien en la de ordenamiento territorial y/o urbanístico— y de políticas públicas formuladas y gestionadas por instituciones de gobierno fortalecidas para tales fines. Como señala Bastida (2009: 136-138), el solo reconocimiento constitucional de un determinado derecho no implica su consideración de fundamental.

En el modelo de garantía indirecta a través de otros derechos fundamentales o bienes de rango constitucional, se reconoce al derecho a la vivienda mediante la conexión con otros derechos, aunque sin la expresa configuración que se haya diseñado para ellos. Por ejemplo, al relacionar el derecho a la vivienda con el derecho a la dignidad de la persona, o con la titularidad universal, desaparecen limitaciones como la procedencia o nacionalidad exigidas, permitiendo que toda persona que vea en peligro su derecho a la dignidad asociado a la carencia de vivienda pueda exigir su reparo o cuando menos una garantía de ello. Son ejemplos de este modelo el sistema francés, que sin reconocer el derecho a la vivienda constitucionalmente, lo vincula a otros derechos constitucionales como la dignidad de las personas y donde, además, se aplica una Ley de Exigibilidad de la Vivienda; y el sistema alemán, que no se acoge a los modelos anteriores, aunque cabe hacer la salvedad de que algunos Länder alemanes disponen de un reconocimiento propio del derecho a la vivienda.

De lo antes planteado surge la interrogante: ¿por qué constitucionalizar derechos sociales, si no se pueden exigir? Pisarello (2009b) afirma que los derechos sociales han sido proclamados

en los textos jurídicos de manera generosa, aunque con poca garantía. Con independencia del modelo jurídico constitucional que adopte cada Estado, el esfuerzo legislativo por construir el derecho a la vivienda de manera racional en las sociedades de hoy, no corresponde a la expectativa de plasmar en los textos constitucionales de manera inequívoca un derecho cuya puesta en práctica sea únicamente de voluntad política. Ello no sólo muestra una imprecisión del reconocimiento constitucional del derecho a la vivienda como uno de los obstáculos a superar, sino que además surgen dificultades para incorporar en las leyes secundarias, las cuales suelen ser escasas.

Podemos resumir: la vivienda es un derecho que depende de acciones administrativas, presupuestarias y legislativas de los Estados para hacerlo una realidad. Es decir, el imperativo constitucional se encuentra supeditado a la existencia de otras condiciones. Lo deseable sería que las constituciones tuvieran un fuerte contenido normativo, con reconocimiento del derecho al recurso efectivo para su resguardo. Una Constitución transformadora sería aquella que incide en la toma de decisiones de todos, poniendo a los jueces en el mismo plano de protagonismo que los legisladores para garantizar el derecho a la vivienda; por tanto, el derecho se potencia cuando puede ser exigido ante los tribunales (Oren y Alterman, 2021). Un caso ejemplar es Sudáfrica, donde el poder judicial tiene un papel muy activo y al mismo nivel que los otros poderes del Estado en relación con la protección del derecho a la vivienda.

## **6. UBICACIÓN DE LOS COMPROMISOS CONSTITUCIONALES: NATURALEZA JURÍDICA DEL DERECHO A LA VIVIENDA, ¿ES UN DERECHO ADMINISTRATIVO O CIVIL?**

Hacer posible que los ciudadanos tengan garantizado su derecho a la vivienda adecuada tiene dos connotaciones de abordaje jurídico: 1) mediante la actividad gubernamental relativa a la promoción, provisión, mecanismos de financiación y

autorización de construcción de vivienda; es decir, todos los actos administrativos de cualquier índole que crean las condiciones para concebir y materializar unidades habitacionales, y 2) mediante la actividad del sector privado, relativa a las transacciones entre particulares. En el caso anterior, el Estado delega la función social de gestionar y construir vivienda para la población a un actor privado, el cual tiene la consigna de hacer operativos los traslados de sus costos de gestión y construcción, y derechos de propiedad/tenencia a otro particular (ciudadano en ejercicio de su derecho a la vivienda).

Para Pisarello (2009b), la vivienda tiene una doble caracterización —subjetiva y programática— de acuerdo con las diferentes formas jurídicas que adoptan los Estados, al ser un derecho complejo y transversal en el que inciden otras áreas jurídicas como las administrativas, civiles y más específicamente el desarrollo urbano y ordenamiento del territorio. Cada una de esas áreas está regulada por diferentes sectores del gobierno, vigilando y concretando la materialización de este derecho desde lo público, pero también el sector privado cuando la producción de vivienda es desempeñada por particulares gestores, constructores, inmobiliarios y desarrolladores. Así, la producción de vivienda se relaciona con el planeamiento urbano y al mismo tiempo con la aplicación de normas técnicas y edificatorias al establecer las condiciones mínimas constructivas que debe cumplir una vivienda nueva, recayendo en los gobiernos locales —autoridades administrativas— aplicar la normatividad técnica-urbana, de ahí que el derecho administrativo sea considerado “derecho constitucional concretizado”.

En todo caso, a través de las diversas formas de organización administrativa de cada país los Estados deben garantizar, proteger y promover los derechos fundamentales. Este criterio ha sido materia de múltiples controversias judiciales, ya que se sostiene el argumento de que todas las autoridades administrativas deben someterse a los preceptos constitucionales, entre los que se encuentra el derecho a la vivienda. Tal es el caso de la sentencia emitida por la Corte Constitucional Colombiana C-539/11 en la que se estableció que:

[...] las autoridades se encuentran sometidas al “imperio de la ley”, lo cual significa por sobre todo al imperio de la Constitución, de conformidad con los artículos 2 y 4 Superiores; (ii) la tarea de interpretación constitucional no es tarea reservada a las autoridades judiciales, y (iii) que dicha interpretación y aplicación de la ley y de la Constitución debe realizarse conforme a los criterios determinados por el máximo tribunal competente para interpretar y fijar el contenido y alcance de los preceptos de la Constitución (C-539/11, 2011).

De lo anterior deriva que el derecho administrativo únicamente es una de las herramientas que posibilitan el concretar preceptos legislativos que mandatan a los poderes públicos la garantía del derecho de vivienda, así como la intervención del Estado (a través de contratos) para estimular su construcción para quienes no tienen posibilidades de acceder a una vivienda.

El conflicto, que ha tenido amplias discusiones, versa sobre la tensión que envuelve a la vivienda por caracterizarse, por un lado, como un activo financiero objeto de transacciones contractuales, y por otro, por ser un derecho fundamental (Nasarre, 2017: 66). Es decir, el desempeño de la actividad administrativa para promover, otorgar estímulos y autorizar desarrollos habitacionales forma parte de las múltiples dimensiones que inciden en la materialización y efectividad del derecho a la vivienda, pero el foco de atención está sobre la tenencia de una unidad habitacional, su forma de adquirirla y de habitarla. Tan sólo el componente de seguridad jurídica de la tenencia adopta diversas formas: alojamiento de alquiler (público o privado), vivienda cooperativa y de emergencia, e incluso la relación de la seguridad del derecho sobre las tierras y la propiedad privada. Así, el derecho contractual y el derecho de las obligaciones son clave para la concreción del derecho a la vivienda.

En Colombia, el texto del artículo 51 de su Constitución (1991) privilegia la adquisición de la propiedad como forma de acceso a la vivienda, lo que también sucede en países como Guate-

mala, Paraguay, República Dominicana, Uruguay, Grecia y Polonia. En este sentido, es inevitable decantar la discusión sobre el carácter civil que la vivienda representa, porque su concepción, desarrollo, financiación, cambios de propiedad y otras operaciones son ineludiblemente materia de lo civil. Incluso en algunos países como Colombia y México el modelo de política habitacional de acceso a la vivienda se traslada al sector privado, nulificando la actividad del Gobierno en la producción de la vivienda social, lo que aumenta el protagonismo de las transacciones de carácter civil y mercantil. Por tanto, en algunos casos el derecho a la vivienda nace de la contraprestación de pagar al inquilino y no la norma constitucional. De hecho, hoy el contrato es un instrumento clave para garantizar el derecho a la vivienda (Diver, 2016).

Al respecto, el Tribunal Europeo de Derechos Humanos (TEDH) en el caso 1979\3, Caso Airey contra Irlanda (2012) ha protegido el argumento de que el derecho privado no puede ocuparse únicamente de las relaciones entre particulares, basado en el principio de autonomía anclado en la intención de las partes. Se ha establecido una conexión entre los derechos de naturaleza civil y los derechos de naturaleza social; en el caso particular del derecho a la vivienda se destaca la relación entre la habitabilidad de la vivienda y el derecho de propiedad (Simón, 2015: 13). En este sentido, los efectos envolventes del derecho constitucional implican estrechar las relaciones entre el derecho privado y el derecho público, ya que históricamente se deshumanizan las relaciones contractuales, creando una brecha perjudicial entre los actos del derecho civil y comercial de las Constituciones y tratados de derechos humanos (Tolosa, 2017: 16), desprotegiendo, en todo caso, a las personas que buscan acceder a una vivienda adecuada.

En algunos países como México se han logrado avances para abatir la división histórica entre el derecho civil/mercantil y los tratados internacionales. La Suprema Corte de Justicia, en la resolución del juicio de amparo 3516/2013 (2014) del cual derivó la tesis: 1ª CXLVII/2014 (10ª) emiti-

da por la Corte de México, se realizó un extenso análisis del marco normativo local en materia de construcción, estableciéndose que tanto las autoridades administrativas como el sector privado —Ayuntamientos y desarrolladores— tienen la obligación de cumplir con la Observación general núm. 4 emitida por el Comité de DESC.

Por tanto, hablar de la naturaleza jurídica de la vivienda engloba necesariamente una complejidad. No podemos perder de vista que acceder a una vivienda, en la gran mayoría de casos sólo se logra mediante la celebración de contratos de naturaleza civil como el arrendamiento, el crédito hipotecario, el leasing habitacional, el contrato de adquisición, entre otros (Molina, 2018: 123), por ello hay al menos una cuestión de carácter general que se debe atender, nos referimos al hecho de que debe efectuarse un cambio en la noción que se tiene del derecho contractual, al menos cuando se trata de transacciones relacionadas con las viviendas susceptibles de control judicial.

## 7. LA EXIGIBILIDAD Y JUSTICIABILIDAD DE LOS DERECHOS ECONÓMICOS, SOCIALES Y CULTURALES

De acuerdo con el contexto económico y particularmente ante la crisis inmobiliaria que se vive a nivel global, se ha generado una extensa lista de jurisprudencias y criterios emitidos por las Cortes nacionales de los Estados estudiados en relación con el derecho a la vivienda. Se han emitido fallos vinculados con otros derechos humanos al ser interdependientes e indivisibles al derecho a la vivienda, sentando precedentes respecto de la asequibilidad y habitabilidad de la vivienda, desalojos forzosos, cláusulas de suelo, arrendamientos, entre otras cuestiones. De ahí que los tribunales cobran un lugar protagónico en la realización del derecho a la vivienda, ya que un poder judicial activado adecuadamente puede ser un instrumento de formación de políticas públicas habitacionales.

Comenzaremos por decir que existen precedentes legales respecto de la necesidad de reco-

nocer a la vivienda como un derecho exigible y justiciable de manera directa sin tener que apelar a la conexidad con otros derechos, uno de ellos es la Sentencia T/583/13 (2013) pronunciada por la Corte Constitucional Colombiana, en la que consideró que la vivienda como derecho fundamental puede ser exigido de manera directa sin que esté sujeto a criterios de progresividad en su cobertura. En el mismo sentido, la Corte Constitucional de Sudáfrica, por ejemplo, en el año 2000<sup>15</sup> al resolver el caso de *Grootboom community and Others CCT11/00 (2000)* emitió el criterio de que los derechos económico-sociales, entre los que se encuentra el derecho a la vivienda, deben cumplirse de acuerdo con las especificaciones de cada caso concreto debido a su complejidad. Pese a que los países sudafricanos no fueron materia de estudio, son referentes en materia de justiciabilidad de los DESC, ya que ha emitido diversos fallos a favor y en contra del derecho a la vivienda, pero sobre todo se ha destacado por emitir criterios protectores de los grupos vulnerables con base en el principio de “involucramiento significativo”.

Con posterioridad al fallo antes mencionado, la Corte Constitucional de Sudáfrica emitió en los siguientes años diversas sentencias relativas al derecho a la vivienda, basándose en criterio del caso *Grootboom community and Others* y resolviendo cuestiones relacionadas con el acceso de la asistencia de vivienda de emergencia y a la protección ante desalojos forzados.<sup>16</sup> Es evidente que el derecho a la vivienda sufre violaciones como cualquier otro derecho humano, a pesar de

15. El juicio fue promovido por la comunidad *Grootboom*, un barrio de chabolas localizado a las afueras de la ciudad de El Cabo, que fue desalojada por el Gobierno sin que previamente se contara con un programa de emergencia a la vivienda.

16. Algunos casos significativos de la Corte Constitucional Sudafricana en relación con el derecho a la vivienda, son: *Minister of Health versus Treatment Action Campaign*, CCT9/02, 5 de julio de 2002; *Port Elizabeth Municipality versus Various Occupiers*, CCT53/03, 1 de octubre de 2004; *Khosa versus The Minister of Social Development*, CCT/12/03, 4 de marzo de 2004; *Mahlaule versus The Minister of Social Development*, CCT/13/03, 4 de marzo de 2004; *Occupiers of 51 Olivia Road versus City of Johannesburg* (2008); *Residents of Joe Slovo versus Thubelisha Homes*, CCT22/08A, 31 de marzo de 2011.

que el PIDESC establece obligaciones internacionales de carácter inmediato.

Debe aclararse que, en el caso específico de los Estados latinoamericanos, presentan límites históricos en materia de justiciabilidad que se han ido superando de una manera paulatina con las potencialidades del nuevo constitucionalismo (Maniglio, Casado y Chávez, 2020: 146), lo que ha permitido una justicia social basada en los derechos humanos y prácticas argumentativas del principio pro persona. Esto deriva en un trato igualitario de los DESC y el derecho a la vivienda con relación con los derechos civiles y políticos. Como ejemplo pueden citarse México, Ecuador, República Dominicana, Argentina, Colombia y Perú,<sup>17</sup> que a partir de sus reformas constitucionales en materia de derechos humanos y la inclusión del principio pro homine o de favorabilidad, que constituyó un nuevo paradigma en la interpretación de las Constituciones al establecer las obligaciones de las autoridades de promover, respetar, proteger y garantizar los derechos humanos, entre ellos el derecho a la vivienda.

Uno de los temas que tienen mayor relevancia en el aspecto social son los desalojos forzosos, en los cuales surge la necesidad de realizar un control jurisdiccional sobre la actividad administrativa de los Estados, ya que suelen ser quienes ordenan y ejecutan dichos actos. Los desalojos forzosos son una problemática mundial. En algunos países surgen de las ejecuciones hipotecarias, de los desalojos por contaminación ambiental, traslados forzados de población, desplazamientos internos e incluso por los desalojos de asentamientos irregulares en poblaciones en situación de pobreza. En esta línea se ve reflejado en numerosas sentencias emitidas por las Cortes nacionales e internacionales, con la idea generalizada

de que los desalojos forzosos son actos administrativos que vulneran el derecho a la vivienda. Tan sólo en Estados como El Salvador, se tuvo el registro de enero de 2014 a junio de 2017 de 1,041 casos judiciales referentes a desalojos forzosos (Bocado et al., 2018).

En los casos de desalojos forzosos, el contenido mínimo de protección por parte de los Estados es proveer vivienda o alojamiento básico y digno a las personas que han sido víctimas del desplazamiento, atendiendo a su situación de especial vulnerabilidad. En la Reclamación Colectiva N. 58/2009 (2010) se concluyó que Italia era responsable de políticas y prácticas que ocasionaron que los residentes romaníes y sintis vivieran en viviendas segregadas. Este criterio cuestionó la regresión del derecho a la vivienda al considerar una violación agravada de la Carta Social Europea, al tratarse de desalojos de minorías raciales o étnicas. No ha sido el único caso. Algunos países se han pronunciado en cuanto a este tema; al respecto pueden revisarse las sentencias de la Corte Constitucional Colombiana CC T/25-04 (2004) y CC T/583-14 (2014) en las cuales reafirman el criterio de que el derecho a la vivienda es un derecho fundamental cuando se trata de la población desplazada.

Por otro lado, los organismos internacionales defensores de los derechos humanos han emitido criterios que fortalecen la jurisprudencia en materia del derecho a la vivienda. Por ejemplo, el Comité de los DESC confirmó en la Comunicación núm. 5/2015, UN Doc. E/C.12/61/D/5/2015 (2017) que en España el derecho a la vivienda es aplicable en acuerdos privados de renta. El Comité de los DESC, al emitir su comunicado consideró que España vulnera el derecho a la vivienda al no tomar las medidas para evitar que se celebren contratos de alquiler en contextos de vulnerabilidad. Otro caso es el de Vereda la Esperanza vs. Colombia, resuelto por la Corte Interamericana de Derechos Humanos (2017), en el cual se protegió el derecho a la vivienda por conexidad con el derecho a la propiedad; ya que derivado del desplazamiento forzoso interurbano, trajo también como violación el derecho a la vivienda

17. Las reformas constitucionales en materia de derechos humanos en Latinoamérica han incluido el derecho pro personae o pro homine en su marco constitucional: México, artículo 1º (Constitución Política de México, 1917); Ecuador, artículo 417 (Constitución Política de la República de Ecuador, 1998); República Dominicana, artículo 74 (Constitución de la República Dominicana, 2010); Argentina, artículo 75.22 (Constitución de la Nación de Argentina, 1994); Colombia, artículo 93, y Perú que particularmente lo ha aplicado a través de los criterios emitidos por la Corte Constitucional Peruana.

por su destrucción paulatina. En este último caso debe decirse que la justiciabilidad indirecta del derecho a la vivienda a través de la conexidad con otros derechos humanos, como el derecho a la vida, a la propiedad o a la dignidad humana, ayuda a comprender que los derechos civiles, políticos, económicos, sociales y culturales se encuentran en un mismo plano de protección, ocasionando desnaturalización de los derechos y confusiones importantes para las autoridades judiciales (Ferrer Mac-Gregor, 2017: 332).

En síntesis, existe una vasta lista de casos judiciales que han atendido las problemáticas de los diferentes componentes de la vivienda; sin embargo, no ha sido suficiente para garantizar el derecho a la vivienda, pues para ello requiere que los Estados reconozcan la totalidad de dilemas que surgen en el camino hacia la justiciabilidad. Creemos que el más importante de ellos se refiere al reconocimiento constitucional y el modelo de garantía que se adopte para ello.

## 8. EVALUACIÓN DEL DERECHO A LA VIVIENDA Y SU MATERIALIZACIÓN

El derecho a la vivienda ha estado inmerso dentro del paquete de derechos económicos y sociales, reconocidos en su mayoría por los textos constitucionales; su estructura ha estado enmarcada por una amplia gama de conflictividades para su efectividad, las cuales pueden ser diferentes de acuerdo con la técnica legislativa empleada. En este apartado se realiza un análisis causal entre ocho Estados,<sup>18</sup> los cuales fueron seleccionados por presentar información más clara y homogénea respecto de los datos analizados, valorizando algunos componentes que inciden en la efectividad del derecho a la vivienda, el cual consistió en una ponderación útil por cada componente a analizar: i) reconocimiento constitucional; ii) modelo de sujeto activo; iii) reconocimiento

normativo; iv) mecanismos disponibles de justiciabilidad (recursos de impugnación del sistema jurídico internos); v) mecanismos disponibles de justiciabilidad (recursos de impugnación del sistema jurídico externo o internacional); v) gasto público destinado para proveer vivienda, y vi) déficit de vivienda cuantitativo (población sin acceso a una vivienda).

Una vez seleccionados estos siete componentes, para el análisis de cada uno de ellos se incluyó la valoración de cuatro características para cada componente, lo que permite revelar el reconocimiento que han alcanzado los Estados seleccionados respecto al derecho a la vivienda en toda su significación y cómo su efectividad está relacionada con otros componentes más allá que el mero reconocimiento constitucional. Estas características están ponderadas con valores de 0, 1, 2 y 3. En la tabla 1 se muestran las características y componentes analizados.

**TABLA 1**

Relación de las características y los componentes analizados que inciden en la efectividad del derecho a la vivienda.

Componente	Características	Valoración
Reconocimiento constitucional	No está reconocido	0
	Reconocimiento indirecto	1
	Reconocido como principio rector de política	2
	Reconocido como garantía fundamental	3
Modelo de sujeto activo	No está reconocido	0
	Dirigido a un grupo específico	1
	Dirigido a un sujeto con nacionalidad	2
	Dirigido a todos los habitantes	3

18. Alemania, Ecuador, España, México, Colombia, Francia, Países Bajos y República Dominicana. Los cuales fueron seleccionados al presentar diferentes formas de constitucionalización del derecho a la vivienda y por ser representativos de los países europeos y latinoamericanos.

Componente	Características	Valoración
Reconocimiento normativo	No tienen ninguna ley en materia de vivienda	0
	Regulado mediante ley transversal	1
	Ley especializada en vivienda	2
	Ley especializada con protección a sectores vulnerables	3
Recursos de impugnación del sistema jurídico interno	No cuenta con ningún recurso	0
	Cuenta con recursos de impugnación indirectos (en materia civil)	1
	Cuenta con recursos de impugnación indirectos (en materia administrativa)	2
	Cuenta con recursos directos	3
Recursos de impugnación del sistema jurídico externo o internacional	No ha ratificado tratados internacionales que permitan la interposición de recursos	0
	Ha ratificado tratados internacionales que permitan la interposición de recursos	1
	Recursos indirectos (Cortes internacionales)	2
	Recursos directos (protocolo facultativo-DESC)	3
Gasto público destinado para proveer vivienda	PIB destinado (0%)	0
	PIB destinado (0.01% al 1.00%)	1
	PIB destinado (1.01% al 2.00%)	2
	PIB destinado (Mayor al 2.01%)	3
Déficit de vivienda cuantitativo	Más del 10.01% de habitantes	0
	5.01% al 10.00%	1
	1.01% al 5.00%	2
	0% al 1.00%	3

Fuente: elaboración propia de las autoras.

De acuerdo con los datos analizados, se observa que en países en los cuales alcanzaron un mayor

grado de constitucionalización como Alemania<sup>19</sup> y Ecuador,<sup>20</sup> en los cuales se reconoce la vivienda como un derecho fundamental (Constitución del Estado Libre de Baviera, 1998, y Constitución Política de la República de Ecuador, 2008) y que invirtieron rangos menores al 0.9% del PIB, presentaron diferentes valores en el déficit cuantitativo de vivienda. En el caso de Alemania, alcanzó para 2020 una tasa de privatización severa de vivienda de 2.3% (Eurostat Statistics Explained, 2018), en contraposición con Ecuador, que a pesar de alcanzar un grado de constitucionalización alto, en 2018 presentó un déficit de vivienda de 12.4% (Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo, 2018), lo que muestra que el reconocimiento constitucional directo del derecho a la vivienda no es suficiente para que se garantice este derecho, lo que se muestra de manera representativa en la gráfica 1.

Por otro lado, en los casos de México y España ambos reconocen en su Constitución el derecho a la vivienda como un fin del Estado/principio rector de la política social y económica, con la variante del sujeto al que va dirigida la protección del derecho a la vivienda; en México se reconoce el derecho a la vivienda respecto de un grupo específico: “todas las familias” (artículo 4, Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 1917), mientras que en España va dirigido a los sujetos que tienen reconocida su nacionalidad: “a todos los españoles” (artículo 47, Constitución Española, 1978). Esta pequeña variante en la técnica legislativa tiene implicaciones en su grado de protección, ya que en México va dirigido a un grupo específico y por ende tiene un menor grado de protección al estar dirigido a una figura pre-constituida como es la familia.

19. Está reconocido según cada Estado. En el caso de Baviera, el compromiso del Estado es fomentar la construcción de viviendas sociales baratas (artículo 106, Constitución del Estado Libre de Baviera, 1998), mientras que en Berlín su Constitución promueve la adquisición y conservación de la vivienda adecuada (artículo 28.1, Constitución del Unificado Land de Berlín, 1995).

20. Está reconocido en el artículo 30 de la Constitución; además, establece cuáles deben ser las actuaciones del Estado para lograr garantizar el derecho a la vivienda (Constitución Política de la República de Ecuador, 2008).

Para el caso de Alemania, tienen un reconocimiento normativo a través de una ley especializada con protección a un sector vulnerable —Ley de Promoción (social) de la Vivienda y la Ley de Ayudas Económicas a la Vivienda—, lo que permite que el Estado alcance una protección del derecho a la vivienda en un grado más especializado, mientras que en España y México cuentan con leyes secundarias especializadas en materia de vivienda. En España, las comunidades autónomas tienen competencia en materia de vivienda, y según cada comunidad existen diferentes leyes sobre la materia. En México, su ley secundaria es la Ley Federal de Vivienda (2019), en la que establecen normas generales en materia de vivienda. Para el caso de Ecuador, presenta un avance significativo en su reconocimiento constitucional al considerarlo derecho fundamental; sin embargo, no cuenta con una ley especializada en materia de vivienda, dejando su regulación a los estados locales, quienes regulan la vivienda de manera tangencial por medio de leyes especializadas en materia de uso de suelo como la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo (2016), sin que se le dé un tratamiento especial al derecho a la vivienda.

Respecto a la justiciabilidad del derecho a la vivienda, se observa que para el caso de Ecuador es un derecho justiciable al reconocerlo en su Constitución: “los derechos serán plenamente justiciables” (artículo 11.3 Constitución Política de la República de Ecuador, 2008), lo cual se ejerce mediante la promoción del juicio de amparo. Lo mismo ocurre en los casos de México y España, en los cuales cuentan con el juicio de amparo como un mecanismo de justiciabilidad; sin embargo, en estos países en el derecho a la vivienda no está reconocida la justiciabilidad en un plano constitucional y por ende presentan un menor grado de protección. En cuanto a Alemania, la vivienda no se concibe como derecho subjetivo; sin embargo, los Landër deben evitar que haya personas durmiendo en la calle y en nombre del orden público pueden requisar viviendas vacías para satisfacer la demanda de vivienda (Kenna, 2006).

Debe destacarse que para los casos de Ecuador, España y Alemania, suscribieron y ratificaron el Protocolo Facultativo del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, adoptado por la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (Resolución 63/117), el cual se creó con la finalidad de proporcionar un mecanismo de acceso a la justicia a través de un órgano supranacional. Esto representa la posibilidad de instaurar procedimientos en caso de incumplimientos del PIDESC, tanto en defensa del derecho a la vivienda como de otros derechos. México ha quedado rezagado en la adopción de mecanismos externos que permitan exigir directamente el derecho a la vivienda ante su vulneración.

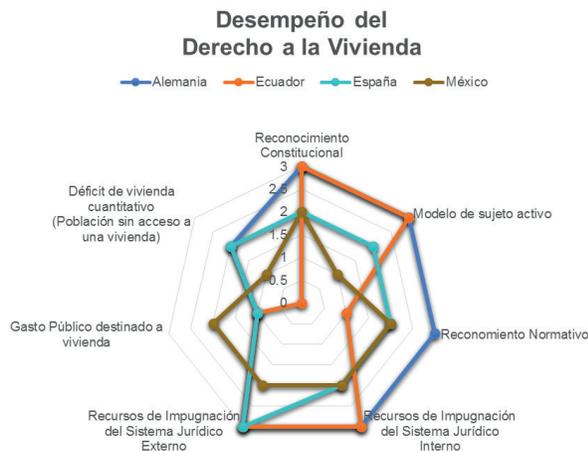
De lo anterior se observa que Ecuador, España y Alemania han complementado el marco normativo internacional para hacer posible la justiciabilidad del derecho a la vivienda; sin embargo, existe una correlación entre los mecanismos de justiciabilidad y otros componentes como el reconocimiento de mecanismos de justiciabilidad internos y el porcentaje destinado a vivienda en el producto interno bruto, al arrojar resultados del déficit de vivienda cuantitativo menores. Un ejemplo es Ecuador, que presenta mecanismos de justiciabilidad internos y externos pero invierte rangos menores al 0.9% del PIB, dando como resultado un déficit de vivienda alto ya que para 2018 las cifras indicaron que 573.000 hogares tuvieron un déficit de unidades de vivienda en Ecuador (Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo, 2018).

De acuerdo con los datos presentados por el Parlamento Europeo en el estudio realizado por Caturianas, Lewandowski, Sokolowski, Kowalik y Barcevičius (2020), indican que la tasa de número de personas sin hogar en países europeos ha aumentado en la última década; las causas se encuentran relacionadas con la combinación del aumento de la vivienda, el impacto de las crisis económicas y las consecuentes medidas de austeridad que implica el congelamiento de programas sociales relacionados con la vivienda. Lo anterior revela que la simple constitucionalización de la

vivienda no es suficiente para garantizar su acceso. Un ejemplo se encuentra en Alemania, que desde 1919 aprobó un artículo específico en la Constitución de la República de Weimar (Alemania) respecto del derecho a la vivienda y que actualmente presenta una crisis habitacional al ofrecer alquileres inaccesibles; tan sólo el 19.9% de la población destinaba el 40% de sus ingresos a vivienda en 2019 (Eurostat Statistics Explained, 2018).

**GRÁFICA 1**

Radial del desempeño del derecho a la vivienda de Alemania, Ecuador, España y México



Fuente: elaboración propia de las autoras.

Asimismo, el estudio refiere que existe una asociación positiva entre un mayor PIB per cápita y un valor más alto de índice de protección social en aquellos países en los cuales aún no se ha logrado un grado elevado de constitucionalización, pues cuanto más alto sea el PIB del respectivo país, mayor será su índice de protección del derecho a la vivienda. De tal manera que en Estados como Colombia, que tiene un grado de constitucionalización del derecho a la vivienda intermedio, para el año 2018 tuvo un gasto público de vivienda del 2.6% del PIB, con un déficit habitacional de 9.8% que corresponde a 1'378,829 colombianos que se encuentran en déficit cuantitativo de vivienda, y el 26.78%, es decir 3'765,610 colombianos presentan déficit cualitativo de vivienda (Censo Nacional de Población y Vivienda, 2018) versus República Dominicana, que presentó para el año 2010 un déficit de vivienda

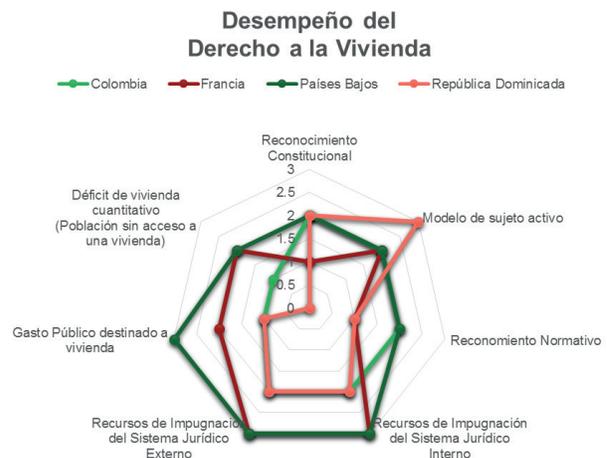
que afecta a alrededor del 20% de su población (Censo Nacional de Población, 2010) y destina el 0.03% del PIB (Base de datos de inversión social en América Latina y el Caribe, 2018).

Por otro lado, en el contexto europeo Francia alcanzó un nivel de constitucionalización bajo al tener reconocido el derecho a la vivienda de manera indirecta a través de la Ley Droit Au Logement Opposable (Ley de Derecho Exigible), la cual establece mecanismos de justiciabilidad del derecho a la vivienda; mientras que en Países Bajos se reconoce el derecho a la vivienda de manera directa como un principio rector de política. En ambos países su desarrollo económico ha permitido aumentar la proporción del gasto público en el rubro social. Para 2011 en Francia se invirtió el 2.9% del PIB del gasto social y 1.1% en 2017, lo que se ve reflejado en un déficit de vivienda de 2.7% para 2018; por su parte, en Países Bajos para 2011 gastó el 1% del PIB en subsidios para costos de vivienda y 1.3% del PIB en deducción del interés hipotecario, por lo que presentó para 2017 una tasa de privación de vivienda de 1.3% (Eurostat Statistics Explained, 2018).

Lo anterior puede apreciarse en la gráfica 2, que muestra el nivel alcanzado por Colombia, Francia, Países Bajos y República Dominicana.

**GRÁFICA 2**

Radial del desempeño del derecho a la vivienda de Colombia, Francia, Países Bajos y República Dominicana



Fuente: elaboración propia de las autoras.

El estudio refiere una correlación entre la adopción del medio de impugnación que haga exigible el derecho a la vivienda con un menor déficit de vivienda. En los casos de Francia y Países Bajos, ambos suscribieron y ratificaron el Protocolo Facultativo del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, adoptado por la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas, pero además cuentan con mecanismo de justiciabilidad en su sistema jurídico interno, lo que muestra un papel más activo de los órganos de justicia, esto se ve reflejado en la gráfica 2, en la cual se aprecia que para ambos países el déficit es menor en relación con Colombia y República Dominicana.

En síntesis, el estudio permite concluir que la aparente constitucionalización del derecho a la vivienda ha sido generalizada; sin embargo, las asimetrías que se presentan en los países europeos por ser pioneros en su conceptualización como Alemania contra las brechas que presentan los países latinoamericanos en la implementación del derecho a la vivienda, se han replicado directamente en el desempeño de la protección del derecho a la vivienda, además de que la riqueza de los países también pareciera condicionar esta protección, salvo en contadas excepciones.

## REFLEXIONES FINALES

- Las distintas Observaciones generales de la ONU, junto a los principales instrumentos jurídicos internacionales que reconocen el derecho a la vivienda como un derecho humano o fundamental, han provocado la introducción o delimitación del derecho a la vivienda como derecho constitucional en la mayoría de los Estados firmantes de dichos instrumentos o parte de la referida organización.
- El simple reconocimiento constitucional del derecho a la vivienda no supone la garantía de dicho derecho si no va acompañado de instrumentos que permitan su justiciabilidad. La vivienda es un derecho que depende de acciones administrativas, presupuestarias y legislativas. Es decir, el imperativo constitucional se encuentra supeditado a la existencia de otras condiciones. Lo anterior se traduce en incertidumbre para su materialización al estar condicionada a la aprobación de leyes secundarias, pues mientras mayor es la incertidumbre normativa, será menor la fuerza del derecho a la vivienda.
- Existen aún muchos obstáculos para que el derecho a la vivienda sea un verdadero derecho subjetivo. Entendemos que una crítica está dirigida a la ambigüedad, vacío y conceptos indeterminados del simple reconocimiento textual del derecho a la vivienda, en donde el término de responsabilidad del Estado es utilizado como sinónimo de posibilidad, competencia, atribución o tarea, generando opacidad en las responsabilidades a cumplir, pero sobre todo una falta de operatividad constitucional. Otra crítica del incumplimiento del derecho a la vivienda se enfoca en el aspecto económico, que al situarse la vivienda como objeto del mercado, se tiende a limitar o anular los obstáculos que frenen la lógica natural de producción de riqueza aun si esto implica la violación del derecho a la vivienda ante la falta de organismos o instancias normativas que pongan un límite a las violaciones.
- En la mayoría de las disposiciones constitucionales revisadas en este estudio puede notarse una falta de claridad para identificar las obligaciones del Estado como ente encargado de garantizar el derecho a la vivienda. De tal manera que el mero reconocimiento constitucional del derecho a la vivienda resulta insuficiente para considerarlo un derecho fundamental, como han pretendido algunos Estados. Resulta contrario a la propia lógica jurídica que un derecho humano e inherente a la persona no pueda hacerse valer frente al Estado, al amparo de una simple consideración programática.
- Los Estados reconocedores del derecho a la vivienda tienen la obligación de respetar como Estado este derecho, protegerlo frente

a terceros y de realizar acciones directas que aseguren su efectividad. Deben tomar medidas apropiadas para garantizar el acceso a la vivienda adecuada, poner a la disposición de los titulares del derecho a la vivienda los medios para su defensa, garantizar un desarrollo progresivo no regresivo y destinar los máximos recursos (humanos, institucionales, económicos) posibles a la garantía de tales derechos, incluyendo los puestos a disposición por las comunidades internacionales. Los Estados también tienen la obligación de rendir cuentas sobre sus actuaciones en favor del derecho a la vivienda, así como explicar a los organismos internacionales y a la sociedad civil qué medidas se están tomando para garantizar este derecho y por qué han optado por éstas.

- La trayectoria de la constitucionalización del derecho a la vivienda presenta un contraste con las situaciones persistentes de pobreza, desigualdad y baja efectividad de los derechos sociales, ámbito en que la inclusión de políticas públicas y niveles de generación de riqueza de los países tienen una incidencia directa en el actual desempeño del derecho a la vivienda. Asimismo, se puede concluir que mientras sea mayor la concreción del derecho a la vivienda, menor es el interés por su constitucionalización; mientras que a menor efectividad del derecho a la vivienda, mayor es el reconocimiento constitucional que recibe en comparación con algunos países con mayor riqueza en donde el derecho a la vivienda se encuentra garantizado de manera indirecta y no requiere consagración constitucional.
- Puede decirse que aún existe una fuerte necesidad de garantizar, por todos los medios apropiados, el acceso a la justicia para el derecho a la vivienda, ya sea mediante juzgados, tribunales administrativos, métodos alternos de soluciones a controversias o instituciones de derechos humanos. Así como lo establece la Constitución ecuatoriana (artículo 11.3, Constitución Política de la República de Ecuador, 2008), todos los derechos recono-

cidos en la Constitución deben ser, sin excepción, justiciables. Un precepto que no parece cumplirse para los DESC en la mayoría de los Estados estudiados, debido a que se han interpretado con un carácter más ideológico que funcional.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abramovich, V. (2006). Una aproximación al enfoque de derechos en las estrategias y políticas de desarrollo. *Revista de la CEPAL*, núm. 88, pp. 35-50. doi:10.18356/a48f3cca-es
- Abramovich, V., y Courtis, C. (1997). Hacia la exigibilidad de los derechos económicos, sociales y culturales. Estándares internacionales y criterios de aplicación ante los tribunales locales. En M. Abregu y C. Courtis, *La aplicación de los tratados internacionales sobre derechos humanos por los tribunales locales* (pp. 283-350). Buenos Aires: Del Puerto/CELS.
- . (2009). Apuntes sobre la exigibilidad judicial de los derechos sociales. En: C. Courtis y R. Ávila Santamaría, *La protección judicial de los derechos sociales* (pp. 3-30). Quito: Ministerio de Justicia y Derechos Humanos.
- Aláez, C. (2011). El derecho a una vivienda digna en el derecho internacional y constitucional comparado (notas para un proyecto de ley asturiana de garantía del derecho a la vivienda digna). *Direitos Fundamentais & Justiça*, núm. 14, pp. 39-75. doi: 10.30899/dfj.v5i14.399
- Alexy, R. (2009). Sobre los derechos constitucionales a protección. En: R. García Manrique (ed.), *Derechos sociales y ponderación* (pp. 45-84). Madrid: Fundación Coloquio Jurídico Europeo. <https://www.fcjuridicoeuropeo.org/libros-publicados/>
- Alonzo, P. T. (2010). La protección jurídica del comprador de vivienda. En: F. López Ramón (coord.), *Construyendo el derecho a la vivienda* (pp. 232-261). Barcelona: Marcial Pons.
- Archivo Nacional de Datos (ANDA). (2010). Censo Nacional de Población y Vivienda. República Dominicana: Archivo Nacional de Datos (ANDA). <https://anda.one.gob.do/index.php/catalog/95>

- Armendáriz, E., Carrasco, H., Galindo, G., y Rodríguez, C. (2019). Base de datos del gasto en inversión pública de América Latina (BDD-GIPAL). División de Gestión Fiscal (IFD/FMM)/Banco Interamericano de Desarrollo.
- Ávila, S. (2012). Los derechos y sus garantías. Ensayos críticos. Quito: Corte Constitucional para el Periodo de Transición. <http://hdl.handle.net/10644/6114>
- Ball, J. (2015). El derecho a la vivienda y los derechos de vivienda: Opción y eficiencia en Inglaterra y Francia. En: F. J. Alegría de Pinillos (dir.), *Monográfico sobre urbanismo, vivienda y derechos: Una aproximación internacional e interdisciplinaria*. Revista de Derecho Urbanístico y Medio Ambiente.
- Bastida, F. J. (2009). ¿Son los derechos sociales derechos fundamentales? En: R. García Manrique (ed.), *Derechos sociales y ponderación* (pp. 103-150). Madrid: Fundación Coloquio Jurídico Europeo. <https://www.fcjuridicoeuropeo.org/libros-publicados>
- Bocardo, A., Espinosa, L., Fibla, G., Reyes, A., y Valenzuela, M. J. (2018). Conflictividad civil y barreras de acceso a la justicia en América Latina. Informe de vivienda y tierras. En: M. Fandiño (dir.), *Observatorio de Conflictividad Civil y Acceso a la Justicia (OCCA)*. <https://biblioteca.cejamericas.org/handle/2015/5615?show=full>
- Brand, D. (2009). El experimento de Sudáfrica con los derechos socioeconómicos justiciables. ¿Cómo se está desarrollando? En: C. Courtis y R. Ávila Santamaría, *La protección judicial de los derechos sociales* (pp. 479-541). Quito: Ministerio de Justicia y Derechos Humanos.
- Carbonell, M. (2009). Eficacia de la Constitución y derechos sociales, esbozo de algunos problemas. En: C. Courtis y R. Ávila Santamaría (coord.), *La protección judicial de los derechos sociales* (pp. 55-87). Quito: Ministerio de Justicia y Derechos Humanos.
- Carmona, C. (2017). Derechos sociales de prestación y obligaciones positivas del Estado en la jurisprudencia del Tribunal Europeo de Derechos Humanos. UNED. *Revista de Derecho Político*, núm. 100, pp. 1209-1238. doi: <https://doi.org/10.5944/rdp.100.2017.20731>
- Cascajo, J. (2009). Los derechos sociales hoy. *Revista Catalana de dret públic*, núm. 38, pp. 21-42.
- Caturianas, D., Lewandowski, P., Sokolowski, J., Kowalik, Z., y Barcevicus, E. (2020). Policies to ensure access to affordable housing. Parlamento Europeo. <http://www.europarl.europa.eu/supporting-analyses>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2018). Base de datos de inversión social en América Latina y el Caribe. División de Desarrollo Social de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://observatoriosocial.cepal.org/inversion/es>
- Comisión Interamericana de Derechos Humanos. (2007). El acceso a la justicia como garantía de los derechos económicos, sociales y culturales. Estudio de los estándares fijados por el Sistema Interamericano de Derechos Humanos. Washington: OAS Cataloging-in-Publication Data. <http://www.cidh.org/countryrep/accesodesc-07sp/accesodescindice.sp.htm>
- De los Ríos. (2008). El derecho a la vivienda y las declaraciones constitucionales. *Revista INVI*, 23(62): 127-147. <https://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/62264>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2018). Censo Nacional de Población y Vivienda. Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). [https://www.sica.int/documentos/dane-colombia-censo-nacional-de-poblacion-y-vivienda-2018\\_1\\_120257.html](https://www.sica.int/documentos/dane-colombia-censo-nacional-de-poblacion-y-vivienda-2018_1_120257.html)
- Diver, L. (2016). Putting dignity to bed? The Taxing Question of UK's Housing Rights "Relapse". En: A. Diver y J. Miller, *Justiciability of Human Rights Law in Domestic Jurisdictions* (pp. 333-362). Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-24016-9
- Escobar, R. (2016). Sujetos, contenido y límites de los derechos fundamentales. En: J. M. Castellá Andreu (dir.), *Derecho constitucional básico*. (3ª edición). Barcelona: Huygens Editorial.
- Espínola, O. (2010). El derecho a una vivienda digna y adecuada en el ordenamiento jurídico español. Tesis doctoral. Universidad de Alcalá. <https://core.ac.uk/reader/58908620>
- Eurostat Statistics Explained. (2018). Estadística sobre vivienda. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Housing\\_statistics/es&oldid=401872](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Housing_statistics/es&oldid=401872)
- Ferrer Mac-Gregor, E. (2017). La justiciabilidad del derecho a la vivienda en el Sistema Interame-

- ricano de Derechos Humanos (a propósito de un caso sobre desplazamiento forzado intraurbano de defensoras de derechos humanos). En: E. Ferrer Mac-Gregor y R. Flores Pantoja, La Constitución y sus garantías a 100 años de la Constitución de Querétaro de 1917 (pp. 315-378). Instituto de Estudios Constitucionales del Estado de Querétaro/Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Investigaciones Jurídicas. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/10/4633/16.pdf>
- Figueroa, H. (2007). El derecho a la vivienda adecuada en nuestra realidad jurídica. Tesis de grado inédita. Universidad Alberto Hurtado. Repositorio Institucional. <https://repositorio.uahurtado.cl/handle/11242/234>
- Galiana, S. (2018). La naturaleza jurídica del derecho subjetivo a la vivienda. En: E. Muñiz, S. Nasarre, E. Rivas y Á. Urquizu (dirs.), Reformando las tenencias de la vivienda. Un hogar para tod@s (pp. 33-52). Valencia: Tirant lo Blanch.
- García, C. (2014). Innovaciones sociales en materia de vivienda y economía social: Reflexiones desde el derecho financiero y tributario. Revista Vasca de Economía Social, GEZKI, núm. 11, pp. 25-57. <http://hdl.handle.net/10810/46789>
- Gialdino, R. (2003). Obligaciones del Estado ante el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales. Revista IIDH, núm. 37, pp. 87-133. <https://www.corteidh.or.cr/tablas/R08066-3.pdf>
- Golay, C., y Özden, M. (2007). El derecho a la vivienda. Ginebra: Editorial CETIM.
- Gomes, J. (2010). Principios y nuevo constitucionalismo. El problema de los nuevos principios. Revista de Derecho Constitucional Europeo, núm. 14, pp. 321-364.
- Guillén, N. (2012). El beneficiario de las viviendas sometidas a un régimen de protección pública. Barcelona: Marcial Pons.
- Hierro, L. (2009). Los derechos económico-sociales y el principio de igualdad en la teoría de los derechos de Robert Alexy. En: R. García Manrique (ed.), Derechos sociales y ponderación (pp. 163-219). Madrid: Fundación Coloquio Jurídico Europeo.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2018). Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo. Ecuador: Instituto Nacional de Estadística y Censos. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/enemdu-2021/>
- Kenna, P. (2006). Los derechos a la vivienda y los derechos humanos. Cataluña: Debarris SCCL.
- . (2011). Housing Law, Rights and Policy. Dublín: Clarius Press. <https://www.jstor.org/stable/44027103>
- Kenig-Witkowak M. M. (2015). Derecho a la vivienda en la legislación de la Unión Europea. En: F. J. Alegría de Pinillos (dir.), Monográfico sobre urbanismo, vivienda y derechos: Una aproximación internacional e interdisciplinaria. Revista de Derecho Urbanístico y Medio Ambiente, núm. 297.
- Leal, M. (2009). El cambio de modelo y convergencia con Europa en la política de vivienda social española. Ciudad y Territorio Estudios Territoriales, 41(161-162): 489-504. <https://recyt.fecyt.es/index.php/cytet/article/view/75945>
- Leal, M., y Martínez, O. (2017). Tendencias recientes de la política de vivienda en España. Cuadernos de Relaciones Laborales, 35(1): 15-41. <http://dx.doi.org/10.5209/crla.54982>
- López, R. (2010). Sobre el derecho subjetivo a la vivienda. En: F. López Ramón (coord.), Construyendo el derecho a la vivienda (pp. 12-22). Barcelona: Marcial Pons.
- Maniglio, F., Casado, F., y Chávez, G. (2020). La justiciabilidad de los derechos sociales. El caso del derecho al hábitat y a la vivienda en Ecuador (2007-2017). Revista Latinoamericana de Derecho social, núm. 31, pp. 143-174. doi: 10.22201/ij.24487899e.2020.37.14866
- Molina, R. (2018). Una nueva regulación para los arrendamientos de vivienda en un contexto europeo. Valencia: Tirant lo Blanch.
- Naciones Unidas. (2010). El derecho humano a una vivienda adecuada. Nueva York, Folleto núm. 21/ Rev. 1. <https://www.refworld.org/docid/50f539072.html>
- Nasarre, A. (2017). Cuestionando algunos mitos del acceso a la vivienda en España, en perspectiva europea. Cuadernos de Relaciones Laborales, 35(1): 43-69. doi: <https://doi.org/10.5209/crla.54983>
- . (2020). Los años de la crisis de la vivienda. Valencia: Tirant lo Blanch.
- Nogueira, L. (2020). Vulnerabilidad administrativa. Los obstáculos administrativos en el acceso a los programas de vivienda. En: N. Paleo (ed.),

- Políticas y derecho a la vivienda. Gente sin casa y casas sin gente (pp. 214-242). Valencia: Tirant lo Blanch.
- Oren, M., Alterman, R., y Zilbershats, Y. (2014). Housing Rights in Constitutional Legislation: A Conceptual Classification. En: Kenna, P. (ed.), Contemporary Housing Issues in a Globalized World. Aldershot: Ashgate Publishing Ltd.
- Oren, M., y Alterman, R. (2021). The Right to Adequate Housing around the Globe: Analysis and Evaluation of National Constitutions. En: Sandeep Agrawal (ed.), Right and the city: Problems, progress and practice (pp. 1-13), University of Alberta Press.
- Pacheco, A. (2019). El derecho a una vivienda adecuada en Costa Rica. *Revista de Ciencias Jurídicas*, núm. 152, pp. 129-156. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/juridicas/issue/view/2930>
- Pisarello, G. (2003). Vivienda para todos un derecho en (de) construcción. Barcelona: Romanyá/Vall.
- . (2009a). Los derechos sociales y sus garantías: Notas para una mirada “desde abajo”. En: C. Courtis y R. Ávila Santamaría, La protección judicial de los derechos sociales (pp. 31-53). Quito: Ministerio de Justicia y Derechos Humanos.
- . (2009b). El derecho a la vivienda como derecho social: Implicaciones constitucionales. *Revista Catalana de Dret Públic*, núm. 38, pp. 1-13.
- Ponce, S. (2017). Reforma constitucional y derechos sociales: La necesidad de un nuevo paradigma en el derecho público español. *Revista Española de Derecho Constitucional*, núm. 111, pp. 67-98. <https://doi.org/10.18042/cepc/redc.111.03>
- Riquelme, V. (2020). La relevancia constitucional de las obligaciones de protección del derecho a una vivienda digna y adecuada emanadas del ordenamiento jurídico internacional. En: N. Paleo (ed.), Políticas y derecho a la vivienda. Gente sin casa y casas sin gente (pp. 161-181). Valencia: Tirant lo Blanch.
- Rodríguez, P. (2021). El fideicomiso inmobiliario y la inversión extranjera como instrumentos para mitigar el déficit habitacional. Valencia, Tirant lo Blanch.
- Ruipérez, A. (2014). El derecho constitucional a la vivienda y la problemática de su arrendamiento en el Estado social. En: R. Colina Garea (coord.), La protección del arrendador como instrumento para dinamizar el mercado del alquiler de viviendas (pp. 29-183). Navarra: Aranzadi.
- Rugiero, P. (2000). Aspectos teóricos de la vivienda en relación con el habitar. *Revista INVI*, núm. 40, pp. 67-97. <https://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/62111/66176>
- Ruiz, M. (2019). Derecho a la vivienda, un derecho en construcción. Tres experiencias comparadas. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado*, núm. XLX, pp. 419-450. doi: <http://dx.doi.org/10.22201/ijj.24484873e.2019.152a.13273>
- Sepúlveda, M. (2006). La interpretación del Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de la expresión “progresivamente”. En: Christian Courtis (comp.), Ni un paso atrás. La prohibición de regresividad en materia de derechos sociales (pp. 117-150). Buenos Aires: Editores del Puerto.
- Simón, M. (2018). Naturaleza jurídica, contenido y efectos de la regulación de un derecho fundamental a la vivienda en la Constitución Española. En: E. Muñiz, S. Nasarre, E. Rivas y Á. Urquizu (dirs.), Reformando las tenencias de la vivienda. Un hogar para tod@s (pp. 53-88). Valencia: Tirant lo Blanch.
- . (2015). El cumplimiento del derecho a la vivienda en España. Especial referencia a la asequibilidad, estabilidad y accesibilidad en el acceso a la vivienda. *Revista Práctica de Derecho CEFLegal*, núm. 169, pp. 105-156. <http://housing.urv.cat/wp-content/uploads/2019/07/wp52015-derecho-a-la-vivienda.pdf>
- Smart, S., Algorta, A., Escudero, R., y Bellocq, J. (2014). Derecho a una vivienda digna en Latinoamérica. Techo.
- Tolosa, L. (2017). De los principios del derecho obligatorio y contractual contemporáneo. *Estudios Socio-jurídicos de la Universidad del Rosario*, 19(2): 13-61. doi: <http://dx.doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/sociojuridicos/a.5701>
- Leyes y documentos legales
- Carta de los Derechos Fundamentales de la Unión Europea, documento que reconoce los derechos civiles, políticos, económicos y sociales (2010 C 83/02), DO C 83/389. Consejo de la Unión Europea [CUE]. 30 de marzo de 2010. <https://www.consilium.europa.eu/es/documents-publications/>
- Carta Social Europea (Revisada), relativa a la garantía de los derechos sociales y económicos fundamentales. Consejo de la Unión Europea

- [CUE]. 3 de mayo de 1996. <https://www.consilium.europa.eu/es/documents-publications/> Conferencia sobre la vivienda y el desarrollo urbano sostenible, Hábitat III. Asamblea General de las Naciones Unidas. Quito: 23 de diciembre de 2016. <http://uploads.habitat3.org/hb3/nua-spanish.pdf>
- Constitución de la Nación Argentina [Const]. 15 de diciembre de 1994 (Argentina). <https://www.congreso.gob.ar/constitucionNacional.php>
- Constitución Política del Estado del Estado Plurinacional de Bolivia [Const]. 7 de febrero de 2009 (Bolivia).  
<https://web.archive.org/web/20090521023641/http://www.presidencia.gob.bo/download/constitucion.pdf>
- Constitución Política de la República de Ecuador [Const]. 20 de octubre de 2008 (Ecuador). <https://www.gob.ec/regulaciones/constitucion-republica-ecuador-2008>
- Constitución Política de la República de Chile de 1980 [Const]. Texto refundido, coordinado y sistematizado por el Decreto 100 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Diario Oficial. 25 de septiembre de 2005 (Chile). <https://www.bcn.cl/formacioncivica/constitucion.html>
- Constitución Política de Colombia. [Const]. 4 de julio de 1991. Gaceta Constitucional número 114 (Colombia). <http://www.secretariassenado.gov.co/index.php/constitucion-politica>
- Constitución de la República de El Salvador [Const]. 20 de diciembre de 2003 (El Salvador). [https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/decretos/171117\\_072857074\\_archivo\\_documento\\_legislativo.pdf](https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/decretos/171117_072857074_archivo_documento_legislativo.pdf)
- Constitución Española, [Const]. 29 de diciembre de 1978 (España). <https://www.boe.es/buscar/pdf/1978/boe-a-1978-31229-consolidado.pdf>
- Constitución de Finlandia [Const]. 1 de marzo de 2000 (Finlandia). <https://www.finlex.fi/en/laki/kaannokset/1999/es19990731.pdf>
- Constitución de Francia [Const]. 28 de septiembre de 1958, con enmiendas hasta 2008 (Francia). <https://www.senat.fr>
- Constitución Política de la República de Guatemala [Const]. Reformada por Acuerdo legislativo núm. 18-93. 17 de noviembre de 1993 (Guatemala). [https://www.congreso.gob.gt/consulta\\_legislativa](https://www.congreso.gob.gt/consulta_legislativa)
- Constitución de la República Italiana [Const]. 22 de diciembre de 1947 (Italia). [http://www.senato.it/files/cost\\_spagnolo](http://www.senato.it/files/cost_spagnolo)
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [Const]. 05 de febrero de 1917 (México). <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/index.htm>
- Constitución Nacional de la República de Paraguay [Const]. 20 de junio de 1992, con enmiendas hasta 2011 (Paraguay). <https://www.bacn.gov.py/constitucion-nacional-de-la-republica-del-paraguay>
- Constitución Política del Perú [Const]. 29 de diciembre de 1993 (Perú). <https://www.congreso.gob.pe/constitucionyreglamento/>
- Constitución de la República de Polonia [Const]. 2 de abril de 1997 (Polonia). <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/wdu19970780483/u/d19970483Lj.pdf>
- Constitución de Portugal [Const]. 2 de abril de 1976 (Portugal). <https://www.parlamento.pt/sites/en/parliament/documents/constitution7th.pdf>
- Constitución de la República Dominicana [Const]. 13 de junio del 2015, Gaceta Oficial núm. 10805 (República Dominicana). <https://dominicana.gob.do/index.php/recursos/2014-12-16-21-02-56/category/3-constitucion-y-leyes-rd>
- Constitución de la República de Sudáfrica [Const]. 18 de diciembre de 1996 (Sudáfrica). <https://web.archive.org/web/20110225034508/http://www.anc.org.za/show.php?include=docs/const/2007/const2007.html>
- Constitución de la República Oriental del Uruguay [Const]. 02 de febrero de 1967, con las modificaciones plebiscitarias el 26 de noviembre de 1989, el 26 de noviembre de 1994, el 8 de diciembre de 1996 y el 31 de octubre de 2004 (Uruguay). <https://parlamento.gub.uy/documentosyleyes/constitucion>
- Convención Americana de Derechos Humanos (Pacto San José, Costa Rica). Organización de los Estados Americanos [OEA]. 22 de noviembre de 1969. [https://www.oas.org/dil/esp/tratados\\_b-32\\_convencion\\_americana\\_sobre\\_derechos\\_humanos.htm](https://www.oas.org/dil/esp/tratados_b-32_convencion_americana_sobre_derechos_humanos.htm)
- Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, relativa a la protección de los derechos y la dignidad de las personas con discapacidad. Asamblea General de las Naciones Unidas [AGNU]. Artículo 28. 13

- de diciembre de 2006. [https://www.ohchr.org/documents/publications/advocacytool\\_sp.pdf](https://www.ohchr.org/documents/publications/advocacytool_sp.pdf)
- Convenio Europeo para la Protección de los Derechos Humanos y de las Libertades Fundamentales. Consejo de la Unión Europea [CUE]. 4 de noviembre de 1950, entrado en vigor en 1953. <https://www.consilium.europa.eu/es/documents-publications/>
- Convención sobre los Derechos del Niño, adoptada por la Asamblea General de las Naciones Unidas, en su resolución 44/25 [AGNU]. Artículo 27. 20 de noviembre de 1989, entrada en vigor el 2 de septiembre de 1990. <https://www.ohchr.org/sp/professionalinterest/pages/crc.aspx>
- Convención Internacional sobre la protección de los derechos de todos los trabajadores migratorios y de sus familiares. Adoptada por la Asamblea General de las Naciones Unidas, en su resolución 45/158 [AGNU]. 18 de diciembre de 1990. <https://www.ohchr.org/sp/professionalinterest/pages/cmw.aspx>
- Convención sobre la Eliminación de Todas las Formas de Discriminación contra la Mujer (por sus siglas en inglés CEDAW). Asamblea General de las Naciones Unidas [AGNU]. Artículo 14. 18 de diciembre de 1979, entrado en vigor el 3 de septiembre de 1981. <https://www.ohchr.org/sp/professionalinterest/pages/cedaw.aspx>
- Convención Internacional sobre la Eliminación de todas las Formas de Discriminación Racial. Asamblea General de las Naciones Unidas en su resolución 2106 A (XX) [AGNU]. 21 de diciembre de 1965, entrado en vigor el 4 de enero de 1969. <https://www.ohchr.org/sp/professionalinterest/pages/cerd.aspx>
- Convención sobre el Estatuto de los Refugiados. Conferencia de Plenipotenciarios sobre el Estatuto de los Refugiados y de los Apátridas. Asamblea General de las Naciones Unidas [AGNU]. 28 de julio de 1951, entrado en vigor el 22 de abril de 1954. <https://www.acnur.org/5b0766944.pdf>
- Declaración Universal de Derechos Humanos relativa a los derechos humanos fundamentales que deben protegerse en el mundo entero. Asamblea General de las Naciones Unidas celebrada en París, Resolución 217 A (III) [AGNU]. Artículo 25. 10 de diciembre de 1948. [www.un.org/es/about-us/universal-declaration-of-human-rights](https://www.un.org/es/about-us/universal-declaration-of-human-rights)
- Declaración Americana de los Derechos y Deberes del Hombre. Comisión Interamericana de los Derechos Humanos [CIDH]. Artículo 11. 2 de mayo de 1948. <https://www.oas.org/es/cidh/mandato/basicos/declaracion.asp>
- Directrices de Maastricht sobre Violaciones a los Derechos Económicos, Sociales y Culturales, Maastricht, 22-26 de enero de 1997. <http://www.derechoshumanos.unlp.edu.ar/assets/files/documentos/directrices-de-maastricht-sobre-violaciones-a-los-derechos-economicos-sociales-y-culturales.pdf>
- Informe de Hábitat: Conferencia de las Naciones Unidas, relativa a los Asentamientos Humanos. (A/CONF.70/15), cap. II, recomendación B.8, párr. c) ii). 31 de mayo a 11 de junio de 1976.
- Informe del Relator Especial sobre el derecho a la vivienda presentado en la 57ª sesión de la Comisión de Derechos Humanos, E/CN.4/2001/51,8. Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas. 25 de enero de 2001.
- Ley 3/2015, de vivienda. 18 de junio de 2015. Boletín Oficial del Estado núm. 166, de 13 de julio de 2015, 57907- 57968.
- Ley 2007-290, Droit Au Longent Opposable (DALO) et portant diverses mesures en faveur de la cohésion sociale. 5 de marzo de 2007. Se puede consultar en: [https://www.legifrance.gouv.fr/loda/article\\_lc/legiartio00006826143/2007-03-06](https://www.legifrance.gouv.fr/loda/article_lc/legiartio00006826143/2007-03-06)
- Observación General núm. 3, relativa a las obligaciones de los Estados Partes. Comité de los Derechos Económicos, Sociales y Culturales de la Organización de las Naciones Unidas [CDESC]. Artículo 2. 14 de diciembre de 1990. [https://conf-dts1.unog.ch/1%20spa/tradutek/derechos\\_hum\\_base/cescr/oo\\_1\\_obs\\_grales\\_cte%20dchos%20ec%20soc%20cult.html](https://conf-dts1.unog.ch/1%20spa/tradutek/derechos_hum_base/cescr/oo_1_obs_grales_cte%20dchos%20ec%20soc%20cult.html)
- Observación General núm. 4, relativa al derecho a una vivienda adecuada. Comité de los Derechos Económicos, Sociales y Culturales de la Organización de las Naciones Unidas [CDESC]. 13 de diciembre de 1991. <https://www.acnur.org/fileadmin/documentos/bdl/2005/3594.pdf>
- Observación General núm. 7, relativa al derecho a una vivienda adecuada: los desalojos forzosos. Comité de los Derechos Económicos, So-

- ciales y Culturales de la Organización de las Naciones Unidas [CDESC]. 20 de mayo de 1997. [https://conf-dts1.unog.ch/1%20spa/tradutek/derechos\\_hum\\_base/cescr/oo\\_1\\_obs\\_grales\\_cte%20dchos%20ec%20soc%20cult.html](https://conf-dts1.unog.ch/1%20spa/tradutek/derechos_hum_base/cescr/oo_1_obs_grales_cte%20dchos%20ec%20soc%20cult.html)
- Pacto Internacional de los Derechos Económicos, Sociales y Culturales, relativo al acuerdo multinacional para crear condiciones que permitan a cada persona gozar de sus derechos económicos, sociales y culturales, tanto como de sus derechos civiles y políticos. Asamblea General de las Naciones Unidas, Resolución 2200 A (XXI) [AGNU]. Artículo 11. 16 de diciembre de 1966 y entrado en vigor el 3 de enero de 1976. <https://www.ohchr.org/sp/professionalinterest/pages/cescr.aspx>
- Protocolo Facultativo del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, relativo al reconocimiento para adoptar medidas que sancionan la vulneración de los derechos. Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de la Organización de las Naciones Unidas en su Resolución 217 A (III) [CDESC]. 10 de diciembre de 2008, entrado en vigor el 5 de mayo de 2013. <https://www.ohchr.org/sp/professionalinterest/pages/opcescr.aspx>
- Verfassung des Freistaates Bayern (Constitución del Estado Libre de Baviera) [Const]. 15 de diciembre de 1998 (Alemania). [https://www.bayern.landtag.de/fileadmin/Internet\\_Dokumente/Sonstiges\\_p/bv\\_Verfassung\\_Englisch\\_formatiert\\_14-12-16.pdf](https://www.bayern.landtag.de/fileadmin/Internet_Dokumente/Sonstiges_p/bv_Verfassung_Englisch_formatiert_14-12-16.pdf)
- Verfassung von Berlin (Constitución del Estado Federal de Berlín [Const]. 23 de noviembre de 1995 (Alemania). <https://www.berlin.de/rbmskzl/regierende-buergermeisterin/verfassung/>
- SENTENCIAS Y/O JURISPRUDENCIA**
- Comité Europeo de Derechos Sociales [CEDS]. (21 de octubre de 2010) Reclamación Colectiva N. 58/2009 (Centro por el Derecho a la Vivienda y Contra los Desalojos COHRE contra Italia). <https://www.eschr-net.org/es/caselaw/2011/centro-por-derecho-vivienda-y-contra-desalojos-cohre-c-italia-reclamacion-colectiva-nro>
- Comité de los Derechos Económicos, Sociales y Culturales [CDESC]. (20 de junio 2017). Comunicado núm. 5/2015, UN Doc. E/C.12/61/D/5/2015 (Mohamed Ben Djazia y Naouel Bellili c. España). <https://www.eschr-net.org/es/caselaw/2017/mohamed-ben-djazia-y-naouel-bellili-c-espana-cescr-comunicacion-nro-52015-un-doc>
- Corte Constitucional Colombiana [CCC]. (22 de enero de 2004). Sentencia T-025/04. (Abel Antonio Jaramillo, Adela Polanía Montaña, Agripina María Núñez y otros contra la Red de Solidaridad Social, el Departamento Administrativo de la Presidencia de la República, el Ministerio de Hacienda y Crédito Público, el Ministerio de Protección Social, el Ministerio de Agricultura, el Ministerio de Educación, el INURBE, el INCORA, el SENA, y otro) Colombia. <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2004/t-025-04.htm>
- . (06 de julio de 2011). Sentencia C-539/11. (Franky Urrego Ortiz contra el artículo 114 (parcial) de la Ley 1395 de 2010 por la cual se adoptan medidas en materia de descongestión judicial). Colombia. <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/>
- . (29 de agosto de 2013). Sentencia T-583/13. (Jaime Serrano, contra el Fondo Nacional de Vivienda, la Caja de Compensación Familiar del Putumayo y la Alcaldía de Mocoa) Colombia. <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2013/t-583-13.htm>
- . (12 de agosto de 2014). Sentencia T-583/14. (Carlos Fernando Rojas Calderón en contra del Fondo Nacional de Vivienda) Colombia. <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2014/T-583-14.htm>
- Corte Constitucional de Sudáfrica [CCS]. (04 de octubre de 2000). Proceso CCT11/00. (Government of the Republic of South Africa and Others vs. Grootboom and Others). Sudáfrica. <https://collections.concourt.org.za/handle/20.500.12144/2107>
- Corte Interamericana de Derechos Humanos [CIDH]. (31 de agosto de 2017). Excepción Preliminares, Fondo, Reparaciones y Costas (Vereda la

Esperanza vs. Colombia).[https://www.corteidh.or.cr/docs/casos/articulos/resumen\\_341\\_esp.pdf](https://www.corteidh.or.cr/docs/casos/articulos/resumen_341_esp.pdf)  
Suprema Corte de Justicia de la Nación [SCJN].  
(22 de enero de 2014). Sentencia 3516/2013 (R. J. M. P. y otro). México. <https://www2.scjn.gob.mx/consultatematica/paginaspub/tematicapub.aspx>

Tribunal Europeo de Derechos Humanos [TEDH]. (15 de junio de 2012). Proceso 1979\3. (Airey en contra de Irlanda). <https://www.escri-net.org/es/caselaw/2006/airey-v-ireland-32-eur-ct-hr-ser-1979-1979-2-ehrr-305-esp>

# Evaluación de un sistema de captación de agua de lluvia en una empresa de León, Guanajuato

## *Evaluation of a rainwater harvesting system in a company in Leon, Guanajuato*

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i12.212>.

### **DANIEL TAGLE ZAMORA**

Universidad de Guanajuato, México / ORCID: 0000-0002-6203-7429  
Correo electrónico: [datagle@ugto.mx](mailto:datagle@ugto.mx)

### **ALEX CALDERA ORTEGA**

Universidad de Guanajuato, México / ORCID: 0000-0002-7609-8724  
Correo electrónico: [arcaldera@ugto.mx](mailto:arcaldera@ugto.mx)

### **JUAN ANTONIO RODRÍGUEZ GONZÁLEZ**

Universidad de Guanajuato, México / ORCID: 0000-0003-3409-1951  
Correo electrónico: [ja.rodriguezgonzalez@ugto.mx](mailto:ja.rodriguezgonzalez@ugto.mx)

Recepción: 10 de diciembre de 2021. Aceptación: 29 de marzo de 2022.

## **RESUMEN**

**Objetivo:** evaluar los resultados hídricos y económicos de un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) en una empresa de León, Guanajuato.

**Metodología:** consistió en un estudio comparativo del comportamiento del consumo físico del agua y el pago por el servicio de abasto realizado por la empresa en dos fechas de corte entre el año previo a la implementación del SCALL y el primer año de operación del sistema. Previamente se realizó un estudio de prefactibilidad de la inversión (costo-beneficio) para implementar el SCALL en el corporativo.

**Resultados:** el primer año de implementación del SCALL generó una reducción de 38% en el volumen de agua que la empresa consume del servicio municipal, representando un ahorro

económico en el pago del servicio de 42.3%, esto respecto al año previo a la instalación del SCALL; asimismo, el retorno de la inversión para este primer año fue de 72.7%.

**Limitaciones:** el estudio se concentró en la evaluación económica e hídrica del SCALL, describiendo de manera limitada la parte técnica del sistema.

**Originalidad:** mostrar a través de un caso empírico los beneficios de implementar un SCALL en usuarios del sector económico.

**Hallazgos:** escasez de experiencias documentadas de los SCALL en el sector privado en México. La presente propuesta se enfoca en presentar una experiencia con resultados positivos en la zona de El Bajío.

**Conclusiones:** diseminar los SCALL en usuarios industriales-comerciales-servicios de León como forma alternativa de abasto descentralizada que permita reducir la extracción de agua subterránea.



Palabras clave: captación de agua de lluvia, sector privado, ahorros hídricos y económicos y sustentabilidad.

## ABSTRACT

**Objective:** to evaluate the water and economic results of a Rainwater Harvesting System (SCALL) implemented in a service sector company in the city of Leon, Guanajuato. Environmental Promoter: PASA.

**Methodology:** the study consisted of a comparative study between the physical consumption of water and the payment for the supply service made by PASA between the year prior to the implementation of the SCALL and the first year of operation of the system. Previously, a feasibility study of the return on investment (cost-benefit) was considered to implement the SCALL within the PASA facilities.

**Results:** in the first year of implementation of the SCALL, the company obtained a 38% reduction in the volume of water consumed from the municipal drinking water service, which similarly represented an economic saving in the payment of the service of 42.3%, this with respect to the year prior to the installation of SCALL; likewise, the return on investment for this first year was 72.7%.

**Limitations:** the study focused on the evaluation of the economic and liquid results of the SCALL and described in a limited way the technical part of the system.

**Originality:** show in an empirical case the positive results of implementing SCALLs in users of the productive and commercial sector.

**Findings:** limited documented experiences of SCALL in the economic sector in Mexico were identified.

**Conclusions:** disseminate the implementation of SCALL as an alternative form of supply in industrial-commercial-service users of Leon that add to the rest of the extraction of groundwater.

**Keywords:** rainwater harvesting, private sector, water and economic benefits and sustainability.

## INTRODUCCIÓN

León, Guanajuato en el nuevo milenio está enfrentando el reto de atender un fuerte cuadro de estrés hídrico que se presenta en sus principales fuentes de abastecimiento para garantizar el abasto de líquido entre los diversos usos que conviven en la región (Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León, 2014). Específicamente, se habla de la vulnerable condición de los acuíferos del Valle de León y el Silao-Romita, los cuales de acuerdo con la Comisión Nacional de Agua (2020a, 2020b) tienen una sobreexplotación de forma anual de 51.8 millones de metros cúbicos (Mm<sup>3</sup>) para el primero y de 114 Mm<sup>3</sup> para el segundo.

El deterioro hídrico de las fuentes de abastecimiento citadas se asocia con el modelo de desarrollo adoptado en la región (Tagle y Caldera, 2021), el cual ha promovido en los últimos 30 años la lógica del crecimiento económico y el aumento poblacional, incidiendo ambos en la expansión de la mancha urbana que demanda mayores volúmenes de agua dentro de una región clasificada como semiárida (Instituto Municipal de Planeación, 2019).

Este rumbo marcado por la dinámica poblacional y económica en la región es una constante dentro de la estructura de la organización de las políticas públicas locales, las cuales mantienen inflexiblemente una configuración del territorio enfocado en el proceso intenso de industrialización orientado al mercado exterior, mismo que demanda del sostén del abasto de agua para los distintos usos económicos presentes en León (Comisión Estatal del Agua de Guanajuato, 2014, 2018).

Como parte del contexto de la organización socioeconómica en León, el Instituto Municipal de Planeación (2019: 23) informó que el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León (SAPAL), organismo operador encargado de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento de la ciudad, se encontraba dando servicio a 1.72 millones de habitantes en el municipio en 2019, representando el 30% del total de la población en el estado de Guanajuato, a la par de abastecer a 82,022 unidades económicas establecidas en la

ciudad, lo cual contribuye dentro de la lógica e interés de la política económica del estado a que Guanajuato se coloque directamente como el quinto estado a nivel nacional en mayor aportación al producto interno bruto (PIB), y de manera análoga, que León ocupe el noveno lugar a nivel municipal en el mismo indicador, y el tercero en cantidad poblacional (DENUE-INEGI, 2021; INEGI, 2020). En la tabla 1 se destaca la evolución del consumo de los distintos usos y consumos del agua presentes dentro de la mancha urbana.

La información oficial muestra que el volumen facturado total en León entre 2010 y 2018, que concentra todos los usos abastecidos por SAPAL, ha aumentado en 19.4%, mientras que el ritmo de crecimiento por tipo de uso ha sido dispar; en el caso del uso doméstico el crecimiento ha sido apenas de 1.66%, mientras para el uso comercial fue de 51.5%, 10.5% para el uso industrial y 41% para el uso mixto, este último comparado entre 2011 y 2018. Aunque la proporción del uso doméstico respecto al uso comercial es de siete a uno, es el uso comercial el que está mostrando mayor dinamismo y crecimiento en comparación con la estabilidad mostrada por el uso doméstico, es decir, se tiene presente una tendencia al alza de la presión que están ejerciendo los usos económicos del agua abastecidos por los acuíferos en déficit arriba señalados.

Bajo este contexto de la dinámica socioeconómica en expansión para la región, es que el organismo operador (SAPAL) tuvo como estrategia desde hace casi tres décadas buscar concretar nuevas fuentes de abastecimiento, trasvases, que le permitan sostener el patrón creciente de consumo de agua por parte de todos los usuarios de la mancha urbana (la búsqueda de trasvase de agua desde la cuenca del Río Verde en Jalisco se remonta a los primeros años de la década de los noventa). No obstante, los constantes retrasos y oposiciones político-sociales en Jalisco (Casillas, 2019) afectaron a León para concretar el proyecto de la presa El Zapotillo.

Como estrategia inicial para gestionar el agua en la región, el organismo operador tendió a desarrollar un esquema tarifario de contención de la demanda de agua en el uso doméstico; dándole con ello un margen de maniobra para reasignar volúmenes de agua, con un esquema tarifario escalonado, para abastecer los usos económicos de agua en la ciudad que así lo demandaban, esto mientras se estaba a la espera de concretar el proyecto de El Zapotillo (Casillas, 2019).

En la tabla 2 se presenta el esquema tarifario por rangos escalonados que tienen que cubrir los empresarios ubicados en León por el abastecimiento exclusivo de agua potable; esto sin considerar los costos de tratamiento de sus descargas, los cuales se suman a los recibos mensuales.

TABLA 1

Evolución de los consumos de agua de los principales usos de SAPAL (2010-2018)

Año	Volumen total extraído (Mm <sup>3</sup> )	Volumen facturado total (Mm <sup>3</sup> )	Volumen facturado doméstico (Mm <sup>3</sup> )	Volumen facturado comercial (Mm <sup>3</sup> )	Volumen industrial (Mm <sup>3</sup> )	Volumen mixto (Mm <sup>3</sup> )
2010	78.5	46.8	42.1	3.8	0.8	-
2011	81.4	52	41.9	4.4	0.8	2.9
2012	80.1	51.2	40.5	4.4	0.8	3.2
2013	80.2	53.5	40.7	4.7	0.9	3.7
2014	79.7	51.4	39.8	4.9	0.8	3.6
2015	80.7	52.4	40.3	5.3	0.8	3.7
2016	82.9	54.2	41.5	5.7	0.8	3.8
2017	86.9	55.9	42.9	5.8	0.9	3.9
2018	86	55.9	42.8	5.8	0.9	4.1

Fuente: elaboración propia con información de la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG) (2014, 2018).

Como indica la tabla, las tarifas en cada uno de los rangos de consumo han tenido un crecimiento constante; aunque se aprecia que para los rangos de consumo inferiores a 100 y 200 m<sup>3</sup> se han presentado incrementos sensibles comparados con rangos superiores de consumo (mayores a 300, 400 y 500 m<sup>3</sup>).

**TABLA 2**

Costo del servicio de abastecimiento de agua potable para usos comerciales y de servicios en León de acuerdo con el rango de consumo (\$)

Año	0-100 m <sup>3</sup>	0-200 m <sup>3</sup>	0-300 m <sup>3</sup>	0-400 m <sup>3</sup>	0-500 m <sup>3</sup>
2010	2,754	5,936	9,365	12,420	15,475
2011	2,994	6,454	10,184	13,506	16,828
2012	3,256	7,017	11,073	14,685	18,297
2013	3,540	7,630	12,039	15,996	18,893
2014	3,849	8,820	13,090	17,360	21,630
2015	4,271	8,998	13,398	17,798	22,198
2016	4,642	9,781	14,565	19,349	24,133
2017	5,012	10,562	15,728	20,894	26,060
2018	5,439	11,462	17,068	22,674	28,280
Crecimiento de las tarifas entre 2010-2018	97%	93%	82%	82%	82%

Fuente: elaboración propia con información del IMTA (2019).

Esta información muestra hasta el momento que los mecanismos actuales con los que cuenta el organismo operador de agua de León para gestionar la escasez del recurso son reducidos, centrándose exclusivamente en implementar un esquema tarifario que gestione la demanda con altos costos de oportunidad para el derecho humano al agua en la parte doméstica, así como elevados costos económicos para las empresas comerciales e industriales instaladas en León (Tagle y Caldera, 2021). Por el lado de la oferta, el organismo se ha enfocado en proyectos de infraestructura que posibiliten ampliar la capacidad de abasto para los consumos crecientes en la ciudad (Ins-

tituto Municipal de Planeación, 2020). No obstante, para atender los retos hídricos en León y Guadalajara (Jalisco), la más reciente apuesta institucional por el proyecto conocido como la presa y el acueducto El Zapotillo, fue modificado en agosto de 2021 por el Gobierno federal, dejando fuera del proyecto a León, lo cual deja a la ciudad con un elevado estrés hídrico, que requeriría de nuevas estrategias que sumen a enfrentar el reto por el agua en la principal ciudad de El Bajío.

Frente a la incertidumbre hídrica que presenta León para sostener el abasto futuro en sus distintos usos, y ante la falta de un plan posterior a la exclusión de León del proyecto El Zapotillo, es que el objetivo del presente documento se centró en evaluar los resultados, hídricos y económicos, de una estrategia alternativa de pequeña escala como son los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL), de los cuales se implementó uno de estos sistemas en una empresa de servicios asentada en la ciudad de León: Promotora Ambiental (PASA) S. A. de C. V.

El estudio consistió en realizar un análisis comparativo de dos cortes de los resultados económicos e hídricos, esencialmente en ahorros, a partir de la información obtenida tras el monitoreo de un año posterior a la implementación del SCALL, y compararlos con los datos de consumo físico del agua y de pago económico del servicio durante el año anterior a la implementación del SCALL. Para ello, previamente se registró un proceso de vínculo y colaboración entre universidad, asociación civil y sector privado, quienes conjuntamente diseñaron e implementaron la práctica de la captación de agua de lluvia en PASA, la cual finalmente aceptó financiar en sus instalaciones un SCALL como parte del resultado positivo del análisis de prefactibilidad que la universidad realizó, mostrando en éste las ventajas (retorno de la inversión) que el SCALL le representaría a la empresa al sustituir agua potable proporcionada por el organismo operador municipal, por agua de lluvia para el proceso del lavado de sus unidades recolectoras (camiones) de residuos sólidos urbanos.

Finalmente, se pretende que los resultados positivos obtenidos del SCALL en el corporativo sirvan como aliciente para que lo repliquen otros usuarios del sector productivo y comercial de la ciudad, y con ello sumar de forma colectiva a disminuir la presión que actualmente se ejerce sobre las principales fuentes de abastecimiento de la ciudad.

Este tipo de estrategias se les puede integrar en un componente de la política pública estatal y municipal de la gestión del agua y medioambiental, pues la suma de varias de estas experiencias en el sector industrial se agregaría a una estrategia mayor de gestión de la demanda del recurso hídrico en el territorio.

El documento está estructurado de la siguiente manera: el apartado introductorio consistió en la formulación de la problemática en estudio y la pertinencia del SCALL como una propuesta viable para disminuir el estrés hídrico en León. En la segunda sección se describe la parte metodológica con la que se realizó la presente investigación. Detallando el estudio de prefactibilidad, la descripción breve del diseño del SCALL y la obtención de los datos de monitoreo que fueron evaluados. En la tercera sección se aborda el enfoque de la captación de agua de lluvia, realizando una breve revisión y el interés centrado en usuarios dentro del sector servicios. La cuarta sección muestra el proceso seguido para la implementación del SCALL en PASA, desde el estudio de prefactibilidad, el diseño del SCALL y el análisis comparativo del consumo físico y el pago del servicio de agua entre el periodo sin SCALL y con el sistema. En la quinta sección se aborda la discusión y conclusiones de manera conjunta.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. DEFINICIÓN DEL ENTORNO ANALÍTICO

Coincidente con el interés de implementar acciones económicas y ambientales mediante el ahorro y eficiencia del agua por parte de los usuarios, se identificó pertinente el enfoque de la captación de agua de lluvia, el cual derivó en la forma de

sumar a la figura de cogestor del agua (Castilla, García, Mesa, Quintero y Rapp, 2009). Esto para el ámbito empresarial mediante la incorporación de la práctica de la captación de agua de lluvia para el sector comercial, industrial y de servicios en la economía del municipio de León.

En este sentido, como contexto de la colaboración para incorporar un scall en el sector servicios, en julio de 2018 la Universidad de Guanajuato tuvo contacto con pasa, a quien se le propuso la implementación de un proyecto de captación de agua de lluvia para evitar el derroche de agua potable en un uso no esencial, tal como es el lavado de las unidades de recolección, esto como parte del servicio de aseo que ofrece a la ciudad. Tras una primera valoración por parte de la gerencia, ésta solicitó un estudio de pertinencia del scall para sus instalaciones. En este sentido, el cac-179 realizó el estudio de prefactibilidad para implementar un proyecto de captación en las instalaciones correspondientes a la empresa.

### 2.2. ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DEL SCALL EN PASA

Se realizó una evaluación para determinar la pertinencia de instalar un SCALL en las instalaciones de la empresa Promotora Ambiental S. A. de C. V. Para este punto fue necesario realizar una propuesta bajo el enfoque análisis costo-beneficio que consideró los puntos enlistados en la tabla 3, esto siguiendo la sugerencia de Gleason (2014).

**TABLA 3**

Pasos para la determinación de la pertinencia del SCALL bajo el enfoque costo-beneficio

Acciones	Especificaciones
Calcular la capacidad de captación de la empresa [estudio de las instalaciones (superficie de captación)].	Se determinó el área de captación en las instalaciones de PASA. Se obtuvo información de la precipitación pluvial proporcionada por las estaciones meteorológicas de Conagua (para el histórico) y de SAPAL (debido a su proximidad al corporativo). Se aplicó la fórmula "potencial de captación de agua de lluvia" obtenida en Gleason (2014a).

Acciones	Especificaciones
Revisión de la demanda de agua de la empresa.	Se solicitaron los recibos mensuales de agua emitidos a la empresa por parte del SAPAL (los recibos indican el volumen físico mensual consumido de agua).
Análisis costo-beneficio del SCALL.	Se solicitó la cotización de un proyecto de captación de agua de lluvia a la asociación civil del Consejo Técnico de Aguas (Cotas) del Valle de León para determinar el monto de la inversión; así como el costo de mantenimiento en el periodo de vida del proyecto. Se estimó el valor económico de la capacidad de captación de agua de lluvia (que sirvió como insumo para determinar el monto de retorno de la inversión). Con los datos arriba señalados se aplicó la tasa interna de retorno (TIR), con la que se decidió implementar el proyecto.

Fuente: elaboración propia.

### 2.3. DISEÑO DEL SCALL PARA PASA

Este paso fue de corte técnico-ingenieril, el cual no se detalla extensamente en el presente documento, dado que el objetivo se ha centrado exclusivamente en los resultados hídricos y económicos que se han derivado en un año posterior a su instalación y no en el interés de detallar la parte técnica. No obstante, se señala que el SCALL implementado estuvo a cargo de la asociación civil Cotas, quien diseñó, instaló y verificó el correcto funcionamiento del SCALL en la empresa.

### 2.4. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS HÍDRICOS Y ECONÓMICOS

Se realizó el análisis de los datos obtenidos del monitoreo del primer año de operación del SCALL (septiembre 2019-agosto-2020). La principal fuente de información provino de los datos emitidos en el recibo del servicio de agua potable y saneamiento que SAPAL hace llegar de manera mensual a PASA por el cobro total del servicio municipal. En este sentido, se decidió proceder al análisis comparativo de los datos obtenidos a través de tres vías:

a. Análisis comparativo del volumen físico consumido de agua potable registrado cada

mes del primer año de operación del SCALL respecto al mismo mes del año previo a la instalación de ese sistema (dato disponible en el recibo).

- b. Análisis comparativo del costo monetario (cobro) mensual acotado al consumo de agua potable registrado cada mes del primer año en operación del SCALL respecto al mismo mes del año previo a su instalación (dato disponible en el recibo).
- c. Análisis comparativo a partir del costo monetario total del recibo emitido por SAPAL a PASA cada mes del primer año en operación del SCALL respecto al mismo mes del año previo a su instalación. Se señala que el costo total abarca el consumo de agua potable, el servicio de saneamiento y el IVA (dato disponible en el recibo).

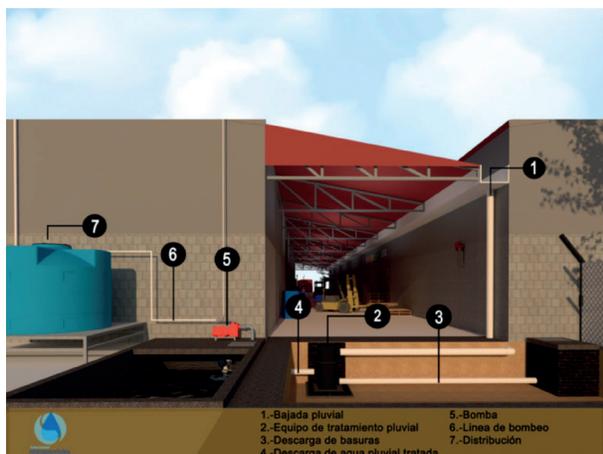
El análisis comparativo se realizó con los datos del consumo físico y el pago del servicio de agua potable entre el año anterior al SCALL (agosto 2018-julio 2019) y el primer año de implementación del sistema (agosto 2019-julio 2020).

## 3. CAPTACIONES DE AGUA DE LLUVIA: CONTRIBUCIONES ECONÓMICAS Y AMBIENTALES

La captación de agua de lluvia (CALL) es el proceso sociotécnico que consiste en capturar, almacenar y aprovechar las precipitaciones pluviales para su aplicación en múltiples usos (Ortiz, Maser y Fuentes, 2014), ya sea a nivel doméstico, agrícola, comercial o industrial. Esta práctica forma parte de la familia ecotecnológica, la cual busca resolver necesidades sociales tangibles a sus usuarios con empatía ambiental (Ortiz, Maser y Fuentes, 2014), o bien, como señalan Peniche y Chávez (2021), éstas representan un elemento central dentro de la construcción para aportar a la sustentabilidad con equilibrio económico.

**FIGURA 1**

Captación de agua de lluvia en espacios no habitacionales



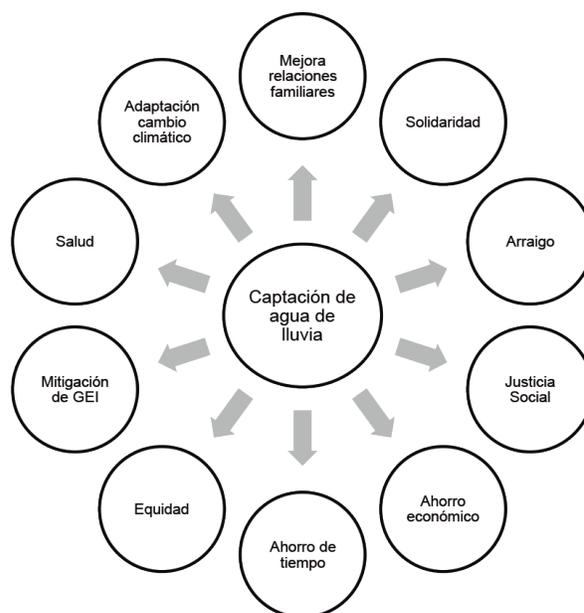
Fuente: Hidropluviales (sitio web).

Si bien la CALL ha sido milenaria en diversas culturas y sociedades, fue el proceso de modernización del abasto municipal de agua potable el principal responsable de su abandono en el último siglo; contradictoriamente, también ha sido a su vez la palanca para su retorno como forma alternativa de acceso ante la incapacidad institucional de garantizar de manera segura el acceso universal al agua potable (Gleason, 2020).

La atención que recientemente ha recibido la CALL se encuentra ampliamente vinculada con sus múltiples beneficios, tanto directos —acceso al agua potable y el ahorro económico— como indirectos —reducir la fatiga de los acuíferos por sobreexplotación; promover educación ambiental respecto al uso y manejo del agua; así como mejorar la calidad de vida entre las sociedades en riesgo hídrico (Concha, Campis, Lall y Ennenbach, 2020; Gleason, Corona y Casino, 2020; Kniffen, 2020; Ortiz et al., 2014; Ortiz, Malagón y Masera, 2015; Tagle, Azamar y Caldera, 2018; Vargas y Lomnitz, 2020).

**FIGURA 2**

Beneficios asociados con la captación de agua de lluvia



Fuente: elaboración propia.

Resulta pertinente señalar que el estudio y análisis sobre la CALL se ha dado de manera transversal, enfocándose esencialmente en la reinserción de esta práctica en las múltiples dinámicas sociales y culturales como respuesta a la ausencia institucional del abasto del agua, ya sea por escasez socialmente construida o por escasez de tipo física.

Como señalan Sosa-Martínez, Narchi, Leal-Bautista, Fraustro-Martínez y Casas-Beltrán (2020), los estudios sobre la CALL se han centrado en aspectos históricos, desarrollo de manuales técnicos e informativos, planteamientos alternativos, estudios de pertinencia y factibilidad, análisis de la calidad, así como en el reporte de los beneficios asociados.

Siguiendo esta línea de intereses por la revisión de la CALL, se suma el estudio de los aspectos conductuales que motivan a las personas a implementar esta práctica social (Herrera, Tagle y Rodríguez, 2018; Sosa-Martínez et al., 2020). En específico, las principales motivaciones son la carencia del recurso hídrico, los usos y costumbres, los discursos pro-ambientales, el ahorro econó-

mico, el ahorro de tiempo, así como la eficiencia por el recurso (Sosa-Martínez et al., 2020).

Dentro de los estudios enfocados en la CALL se ha identificado en la presente revisión que existe una preponderancia por estudiar los SCALL a escala doméstica (vivienda), dejando poco explorada y narrada la experiencia de los SCALL en usos productivos (Karim et al., 2021), aspecto que viene siendo lentamente considerado desde la economía circular (Perero, 2019), pero que debe ser ampliamente considerado en la lógica de sumar a todos aquellos actores y sus conductas que motiven el ahorro de agua para hacer frente a los retos que plantea el estrés hídrico y el escenario de cambio climático en las diferentes urbes.

#### 4. DESARROLLO

Este apartado se distribuye mediante tres secciones acorde con el proceso para la implemen-

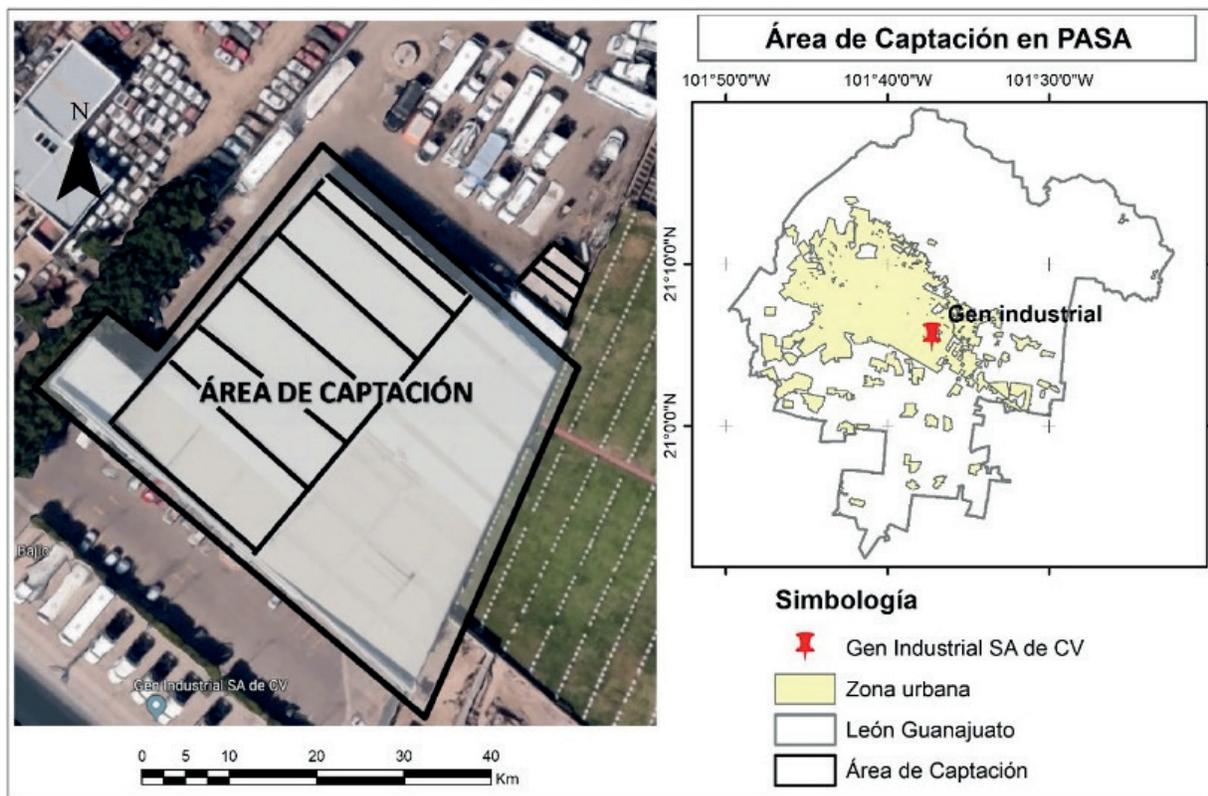
tación y funcionamiento del SCALL en PASA: el estudio de prefactibilidad; el diseño técnico del SCALL; y la obtención de los datos del consumo físico y del pago del servicio de agua potable que posibilitaron la comparación en dos cortes de tiempo, anterior y posterior al SCALL, para evaluar el sistema.

##### 4.1. ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DEL SCALL

###### 4.1.1. CAPACIDAD DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN LA EMPRESA

El primer paso consistió en conocer la información sobre el nivel de precipitación anual, tomando el histórico de 1995 a 2018 para León. Los datos obtenidos correspondieron a la estación 11040 de la Red de Estaciones Climatológicas de la Conagua (2018), con la que se logró obtener dicho histórico. De acuerdo con la clasificación del nivel de precipitación de lluvia de la Organización Mundial Meteorológica (OMM), que con-

FIGURA 3  
Área de captación en instalaciones de PASA



Fuente: elaboración propia con Google Maps (2019).

sidera el rango 500-1,000 mm para la pertinencia de la captación (Gleason, 2014b), se obtuvo que los años 1999 (376 mm), 2000 (441 mm), 2005 (361 mm), 2011 (300 mm) y 2012 (419 mm) estaban por debajo del rango señalado, el resto de los años mostraron información de la pertinencia para considerar un SCALL.

En un segundo paso se definió el área de captación y el potencial de captación. Para la primera parte se determinó un área de 475 metros cuadrados (figura 3), que corresponde a una parte del techado de la zona de oficinas administrativas y del techo de la zona de limpieza de las unidades recolectoras de PASA construidas en 2013.

Para conocer el volumen potencial de captación del área seleccionada en el corporativo, se aprovechó la información proporcionada por la estación meteorológica Cerrito de Jerez del SAPAL (figura 7), la cual tiene datos de registro desde 2010 y es la estación más próxima a PASA (2.1 kilómetros), lo que permite tener una mejor aproximación del cálculo de la precipitación en el área donde están las instalaciones de la empresa.

Para calcular el volumen potencial de captación de agua de lluvia en las instalaciones de PASA se siguió la fórmula de potencial de captación de agua de lluvia sugerida por Gleason (2014a: 177):

Capacidad de captación = área de captación x nivel de precipitación x 0.001 x coeficiente de escorrentía.

El coeficiente de escorrentía depende de la textura y material de la superficie de captación. Siguiendo a Gleason (2014a), el coeficiente de escorrentía para el caso particular de PASA es de 0.9, al tener ésta una cubierta de lámina de hierro que corresponde al techo de sus instalaciones. De igual forma, la estimación del potencial de captación se realizó a partir de 2013, año en que fue construido el edificio donde actualmente opera el corporativo.

**TABLA 4**

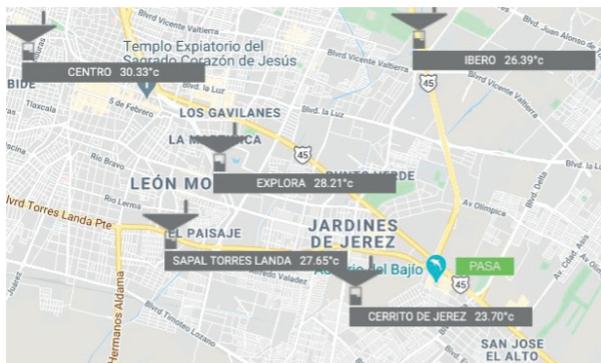
Capacidad de captación de agua de lluvia en PASA

Año	Precipitación anual Estación meteorológica Cerrito de Jerez (mm)	Capacidad de captación m <sup>3</sup> /año
2013	699	298
2014	595	254
2015	706	301
2016	648	277
2017	573	244
2018	867	370
2019	673	287

Fuente: elaboración propia.

**FIGURA 4**

Estaciones meteorológicas en el municipio de León, Guanajuato



Fuente: SAPAL (2019).

#### 4.1.2. CÁLCULO DE LA DEMANDA DE AGUA

En lo que respecta a la demanda de agua por parte de la empresa (tabla 5), se solicitaron a ésta los recibos de agua emitidos por el organismo operador SAPAL para conocer el volumen físico consumido el año previo a la consideración del SCALL. En este caso los datos para la revisión de la demanda de agua de la empresa consideraron el periodo agosto 2018 a julio 2019.

TABLA 5

Compatibilidad entre demanda mensual de agua y volumen potencial de captación (agosto 2018-julio 2019)

Mes	Precipitación mensual (mm)	Capacidad de captación mensual en PASA (m <sup>3</sup> )	Registro del consumo (demanda) mensual de agua en PASA (m <sup>3</sup> /mes)
2018			
Agosto	138	58.9	304
Septiembre	284	121.4	278
Octubre	26	11.1	232
Noviembre	41	17.5	213
Diciembre	0	0	216
2019			
Enero	0	0	179
Febrero	0	0	328
Marzo	0	0	384
Abril	2	0.8	398
Mayo	33	14.1	393
Junio	119	50.8	531
Julio	163	69.6	433
Total	806	343.4	3,889

Fuente: elaboración propia.

Como muestra la tabla 5, el volumen de capacidad de captación representó el 8.8% del volumen total de los requerimientos de PASA entre agosto de 2018 y julio de 2019, es decir, la proporción porcentual del total anual de la capacidad de captación, entre la demanda anual de PASA.

#### 4.1.3. VALOR ECONÓMICO DE LA CAPACIDAD DE CAPTACIÓN

Previo a conocer el costo económico del SCALL, se estimó el monto económico de ahorro en el pago del servicio municipal de agua potable que podría derivarse de la implementación del SCALL, calculado en: \$17,903 anuales (tabla 6). Este dato se obtuvo de multiplicar la tarifa de agua con fines comerciales —establecido por SAPAL— por el volumen de la capacidad de captación mensual que se podría obtener en ésta. La información de la tarifa comercial se obtuvo del Sistema de Información de Tarifas de Agua Potable del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2019), considerando las tarifas de acuerdo con los diferentes rangos de consumo.

TABLA 6

Valor económico de la capacidad de captación

Mes	Capacidad de captación mensual en PASA (m <sup>3</sup> )	Valor económico de la capacidad de captación (\$)
2018		
Agosto	58.9	3,171
Septiembre	121.4	6,171
Octubre	11.1	566
Noviembre	17.5	892
Diciembre	0	0
2019		
Enero	0	0
Febrero	0	0
Marzo	0	0
Abril	0.8	42
Mayo	14.1	740
Junio	50.8	2,667
Julio	69.6	3,654
Total	343.4	\$17,903

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.4. DISEÑO Y COSTO DE INVERSIÓN DEL SCALL

Tras los cálculos hídricos y económicos del ahorro que podría generar el SCALL para el corporativo, se contactó a la asociación civil (AC) “Cotas del Valle de León”, la cual ha implementado más de 70 SCALL en viviendas de la zona periurbana de León. Tras el diálogo universidad-asociación civil-empresa, el Cotas diseñó y estimó el costo de inversión del proyecto (figura 5).

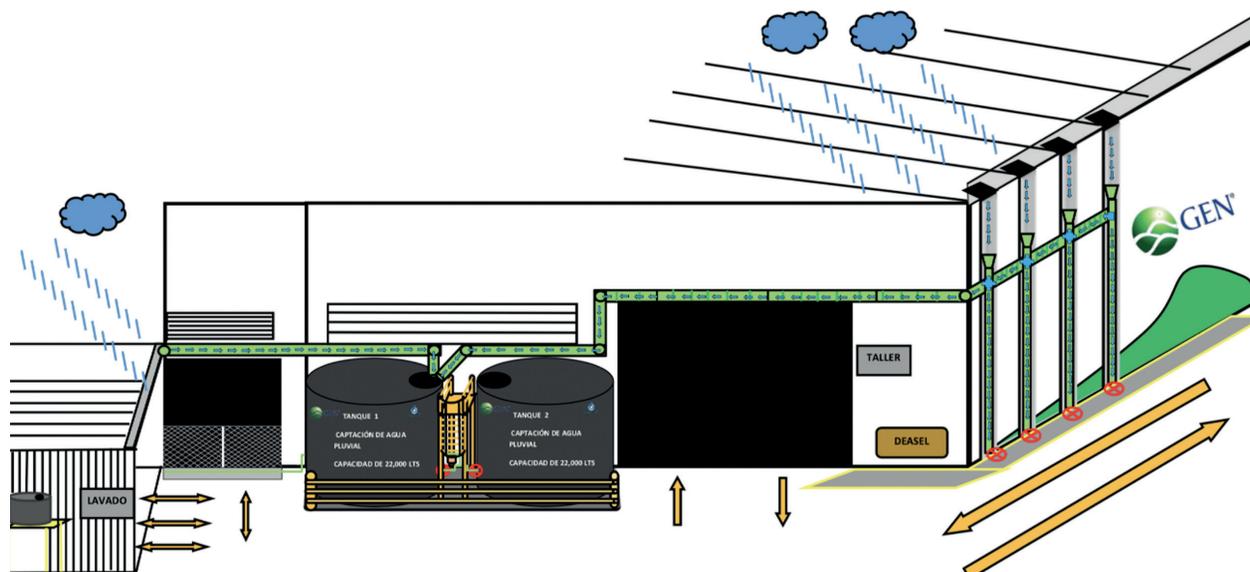
implicó un monto de inversión de \$210,000 pesos para instalar todo el sistema a precios de 2019.

#### 4.1.5. CÁLCULO DEL RETORNO DE LA INVERSIÓN DEL PROYECTO

Con el conocimiento de la inversión inicial para instalar el SCALL se procedió a calcular la tasa interna de retorno (TIR) del proyecto (Concha et al., 2020). En este caso la fórmula aplicada fue:

FIGURA 5

Diseño del Sistema de Captación de Agua de Lluvia en PASA



Fuente: elaboración propia del Cotas.

El diseño propuesto por el Cotas consideró la implementación de dos sistemas de almacenamiento para captar el agua de lluvia con capacidad de 22 mil litros de agua cada uno, para un total de 44 m<sup>3</sup>.

Cabe señalar que la decisión de la capacidad instalada obedeció prioritariamente a la cuestión de la disponibilidad de espacio del área donde fueron colocados los sistemas de almacenamiento, esto más que a la información obtenida de la capacidad de captación, la cual indicaba la posibilidad de extender la capacidad instalada.

Finalmente, la cotización calculada por el Cotas de acuerdo con el diseño de captación definido

$$TIR = 0 = -C + \frac{FNC_1}{(1 + TIR)^1} + \frac{FNC_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{FNC_n}{(1 + TIR)^n}$$

Donde:

C: es el desembolso inicial de la inversión.

FNC: los flujos netos de caja.

TIR: la tasa interna de retorno.

n: el número de periodos de vida del proyecto.

Para el caso concreto del SCALL se ajustó la siguiente fórmula como sigue:

$$C = \$210,000$$

FNC = ahorros económicos anuales asociados con la disminución del pago en el servicio municipal de agua potable derivado de la captación. Se consideró de arranque el volumen de capa-

cidad de captación anual de 340 m<sup>3</sup> y su valor en ahorro económico de \$17,900 (tabla 6). A este valor de ahorro económico inicial se le incorporó una tasa de crecimiento de 3%, esto asociado con los ajustes anuales de las tarifas de SAPAL en sus múltiples servicios de agua potable en León, Guanajuato.

TIR: tasa interna de retorno.

n: 25 años (periodo de durabilidad del proyecto).

Pagos: se consideraron cuatro pagos asociados con el mantenimiento del SCALL cada cinco años por un monto total de 60 mil pesos.

Con la información desplegada se tuvo como resultado del análisis de prefactibilidad una TIR de 8.64% para el SCALL, con un retorno de la inversión inicial en el año 11. La TIR obtenida definió este proyecto como altamente rentable, considerando la capacidad de captación de 340 m<sup>3</sup> al año y un incremento sostenido de las tarifas comerciales de agua potable por parte del organismo operador de 3% anual.

Compartida la información con la gerencia de PASA, ésta dio el visto bueno para implementar a la brevedad el proyecto debido a las aportaciones ambientales y económicas calculadas.

#### 4.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

La instalación del SCALL en PASA inició el lunes 2 de septiembre, concluyendo el viernes 15 de septiembre de 2019 (figura 9). La aplicación del agua de lluvia captada es exclusivamente destinada para el lavado de las 41 unidades que brindan diariamente el servicio de recolección de residuos sólidos urbanos (RSU) en el municipio de León (figura 10), por lo que no resulta importante la calidad del líquido captado. No obstante, el sistema cuenta con un filtro para retener sedimentos que el agua de lluvia transporta desde el techo al SCALL, la función del filtro es evitar averiar la bomba que distribuye el agua a un tinaco de menor capacidad que es usado para alimentar las dos hidrolavadoras consideradas para el lavado de los camiones recolectores de RSU.

FIGURA 9

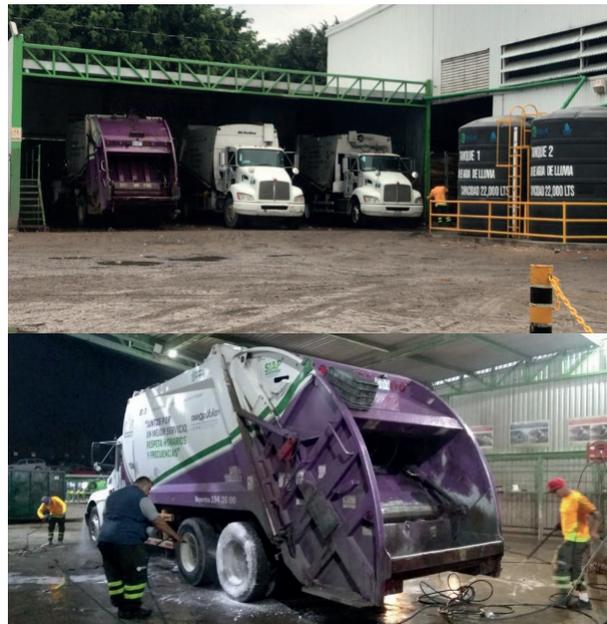
Proceso de implementación del SCALL



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 10

Aplicación del SCALL en PASA



Fuente: elaboración propia.

Con la instalación del SCALL en septiembre de 2019 se procedió a monitorear los datos registrados en el recibo del servicio de agua potable y alcantarillado, considerando: volumen físico consumido, valor económico de los posibles ahorros hídricos obtenidos, así como el ahorro económico total (englobando saneamiento e IVA).

#### 4.3. OBTENCIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL SCALL

##### 4.3.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL CONSUMO FÍSICO DEL AGUA CON SCALL

La tabla 7 registra los consumos mensuales de agua plasmados en el recibo del servicio de agua potable emitido a PASA. Se comparó el rango de un año, con los datos de los meses de consumo previos a la instalación del SCALL (septiembre 2018-agosto 2019) y los datos de los meses con el SCALL operando en PASA (septiembre de 2019-agosto de 2020).

El ahorro total en un año de monitoreo fue de 1,558 m<sup>3</sup> de agua, es decir, el consumo registrado en los recibos disminuyó 38%, lo cual significa un ahorro sensible de agua para la empresa. La misma tabla indica que en los meses abril-agosto fue cuando se registraron los ahorros más significativos. El mes de junio es en específico el mes de monitoreo que registró la mayor brecha a favor del ahorro de agua.

**TABLA 7**

Comparación de los consumos físicos de PASA con SCALL y sin SCALL

	Consumo de agua municipal de PASA con SCALL (m <sup>3</sup> )	Consumo de agua municipal de PASA sin SCALL (m <sup>3</sup> )	Diferencia (m <sup>3</sup> ) [(-) ahorro]
	<b>2019</b>	<b>2018</b>	
Septiembre	364	278	86
Octubre	325	232	93
Noviembre	160	213	(-) 53
Diciembre	164	216	(-) 52
	<b>2020</b>	<b>2019</b>	
Enero	229	179	50
Febrero	247	328	(-) 81
Marzo	222	384	(-) 162
Abril	247	398	(-) 151
Mayo	94	393	(-) 299
Junio	112	531	(-) 419
Julio	172	433	(-) 261
Agosto	202	511	(-) 309
Consumo físico acumulado anual	2,538 m <sup>3</sup>	4,096 m <sup>3</sup>	(-) 1,558 m <sup>3</sup>

Fuente: elaboración propia con los recibos de agua potable y saneamiento municipal.

##### 4.3.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL AHORRO ECONÓMICO CON SCALL

Considerando exclusivamente el costo económico del servicio de agua potable, se tiene que éste presenta la misma tendencia que el comportamiento del consumo físico. La tabla 8 registra el costo económico del consumo de agua potable reportado en el recibo municipal. Se aprecia que el ahorro económico considerando el uso del SCALL en el primer año de aplicación fue de \$62,591. Este dato señala que el ahorro económico en el primer año del artefacto permitió la recuperación del 29.8% de la inversión respecto a la inversión total desembolsada (\$210,000). Dicho resultado supera significativamente el periodo de retorno de la inversión calculado en 11 años, ya que tan sólo en un año se logró el retorno equivalente a 3.5 años.

**TABLA 8**

Comparación del costo monetario del consumo de agua por parte de PASA con SCALL y sin SCALL

	Cobro por el servicio de agua con SCALL sin IVA (\$)	Cobro por el servicio de agua sin SCALL sin IVA (\$)	Diferencia (\$) [(-) ahorro]
	<b>2019</b>	<b>2018</b>	
Septiembre	18,514	14,542	3,972
Octubre	16,974	12,726	4,248
Noviembre	9,460	11,975	(-) 2,515
Diciembre	9,743	12,094	(-) 2,351
	<b>2020</b>	<b>2019</b>	
Enero	13,259	10,221	3,038
Febrero	14,064	16,730	(-) 2,666
Marzo	13,442	19,052	(-) 5,610
Abril	14,158	19,667	(-) 5,509
Mayo	5,506	25,122	(-) 19,616
Junio	6,663	19,556	(-) 12,893
Julio	10,529	21,227	(-) 10,698
Agosto	12,456	24,447	(-) 11,991
Costo acumulado anual del consumo de agua potable y ahorro económico acumulado	\$144,768	\$207,359	(-) \$62,591

Fuente: elaboración propia con los recibos de agua potable y saneamiento municipal.

#### 4.3.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL AHORRO ECONÓMICO TOTAL CON SCALL

En la tabla 9 se comparó el costo total del recibo de agua, el cual considera los servicios de abasto y saneamiento que recibe PASA del organismo operador. En este caso podemos apreciar que la diferencia de la sumatoria del costo del recibo entre el periodo septiembre 2018 a agosto 2019 respecto a septiembre 2019 a agosto 2020, fue económicamente significativo. El ahorro económico registrado en el primer año con el uso del SCALL fue de \$152,735, es decir, generó un ahorro promedio mensual de \$12,700.

**TABLA 9**

Comportamiento del costo total del recibo de agua potable y saneamiento de PASA con SCALL y sin SCALL

	Cobro total del recibo con SCALL con IVA (\$)	Cobro total del recibo sin SCALL con IVA (\$)	Diferencia (\$) [(-) ahorro]
	2019	2018	
Septiembre	25,257	19,839	5,418
Octubre	23,156	17,360	5,796
Noviembre	12,238	23,280	(-) 11,042
Diciembre	13,290	23,550	(-) 10,260
	2020	2019	
Enero	18,087	19,984	(-) 1,897
Febrero	19,187	34,300	(-) 15,113
Marzo	26,025	39,535	(-) 13,510
Abril	19,315	40,885	(-) 21,570
Mayo	8,154	26,678	(-) 18,524
Junio	9,835	53,251	(-) 43,416
Julio	15,445	28,958	(-) 13,513
Agosto	18,246	33,350	(-) 15,104
Costo acumulado anual del servicio de agua potable y alcantarillado y ahorro económico acumulado	\$208,235	\$360,970	(-) \$152,735

Fuente: elaboración propia con los recibos de agua potable y saneamiento municipal.

Considerando que el monto total que se presenta en el recibo de agua potable y saneamiento es el instrumento empleado entre empresa y organismo operador, el ahorro económico total que tuvo la empresa fue del 42.3% en su primer año,

es decir, el resultado económico ha sido marcadamente positivo dado que en el primer año de aplicación se logró el retorno de la inversión equivalente a ocho años definidos en la obtención de la TIR.

## 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las circunstancias de presión hídrica que vive León, como son el deterioro de sus principales fuentes de abastecimiento, su reciente exclusión del proyecto de abastecimiento de la presa El Zapotillo y la falta de estrategias institucionales en el corto y mediano plazo que den certeza en el abasto futuro del agua a la urbe, pueden colocar en riesgo el desarrollo del tercer municipio más poblado a nivel nacional. En este sentido fue que se generó la presente investigación, misma que revisó los resultados que se derivaron de implementar un SCALL en una empresa del sector servicios de la ciudad; experiencia con la cual se busca expandir el uso de este sistema en un mayor número de actores económicos que participan en el sector productivo de la ciudad. De lograrse la diseminación de los SCALL en las unidades económicas de los diversos sectores y ramas de la economía local, se generarían beneficios ambientales hídricos, estableciendo una opción para enfrentar los riesgos hídricos de la región, sumando además en la prevención de conflictos socioambientales tales como el ocasionado por el proyecto El Zapotillo.

La captación es considerada en el documento como una vía para diluir la verticalidad de las decisiones monopolizadas por el organismo operador del municipio (SAPAL), y dar apertura a la participación de los actores estableciendo nuevos códigos de consumo y prácticas que sumen al buen manejo del agua en una estrategia de agregación de medidas que vayan ajustando la demanda de agua en el propio territorio. Por consiguiente, la captación se ve desde esta propuesta como una vía pertinente y necesaria para transitar del papel pasivo que han tenido los usuarios del agua, vistos exclusivamente como clientes

por el organismo operador, y encaminarse a un rol de cogestor del agua, independientemente del tipo de uso (Castilla et al., 2009).

El sector empresarial, en este caso el industrial y muy posiblemente el de servicios, pueden sumar a reducir consumos de agua que vienen directamente de las extracciones de las fuentes subterráneas de agua, sistema provisto por el organismo municipal, o bien son extracciones directas de concesiones en este tipo de usuarios. Se plantea que la política pública deba ser flexible en un cambio necesario de patrón de su modelo de gestión del agua dirigido a la oferta (construcción de infraestructura hidráulica como presas y acueductos), por otro dirigido al ajuste de la demanda, integrando incentivos para replicar este tipo de experiencias a una escala significativa y, en ese sentido, colaborar a disminuir las extracciones provenientes de los acuíferos de los que depende el suministro actual.

Los más claros beneficios de la eco-práctica implementada por el corporativo hasta el momento son el ahorro en el consumo físico del agua y los consecuentes costos económicos asociados a la prestación municipal del servicio de agua potable. Las contribuciones de la implementación del SCALL para la empresa fueron significativas en su primer año de funcionamiento, alcanzando un ahorro de 42% en el pago del servicio y una reducción del consumo en la parte física proveniente de la red de SAPAL de 39% (1,553 metros cúbicos de agua potable).

Si bien las razones de la empresa para valorar positivamente la estrategia están claramente en el plano económico, ésta también puede presentarse como una empresa socialmente responsable con el medio ambiente, comprometida con el entorno donde opera. Se trata de un primer paso, además de las que la organización asuma de otro tipo de eco-prácticas en su gestión operativa y éstas se conviertan más integralmente en un componente estructural del ethos institucional.

Este caso estudiado aquí se plantea para que la autoridad municipal y el organismo operador den espacio a la apertura de permitir la convivencia de casos de éxito y ayudar a promover la

réplica de la estrategia para otras empresas privadas, y evitar resistencias institucionales para que se generen ciertos niveles de autonomía de los actores para encontrar sus propias formas de abastecerse; asimismo, se busca con este caso que la captación sea aplicada también para los propios procesos de producción de bienes y servicios públicos que el mismo municipio genera, sumando también al ahorro del agua y a su buen manejo, como por ejemplo la captación de agua de lluvia en superficies aprovechables de la infraestructura urbana que sirva tanto para el riego de parques y jardines, limpieza de los espacios públicos, o incluso para el abastecimiento de las propias instalaciones de los edificios de gobierno en ciertas zonas donde se requiera.

La idea para el sector público municipal también es que asuma una estrategia integral de cosecha de agua de lluvia como un componente de una política pública comprometida con un ajuste de la demanda de agua en la cuenca y la sustentabilidad medioambiental del territorio. El Gobierno municipal como principal promotor de estas iniciativas, y el sector privado sumándose a ellas, debe ayudar a visualizar las eco-prácticas como una base esencial de la educación ambiental para una responsabilidad hídrica de parte de todos los actores en la región. Asimismo, el SCALL serviría para el ahorro en el pago por la prestación del agua en empresas, lo cual además de representar dicha disminución, colocaría a la empresa con posibilidades de incrementar su competitividad en un mercado global cada vez más exigente con la responsabilidad empresarial medioambiental.

Los resultados conseguidos aquí resaltan la necesidad de continuar colaborando con el sector empresarial facilitando la incorporación de prácticas ahorradoras de agua, tal como sucede a través de los SCALL, especialmente en las zonas áridas y semiáridas del país, aprovechando la capacidad de las instalaciones de los parques industriales y comerciales para captar el agua de la precipitación pluvial de cada región.

Finalmente, es claro que el escenario futuro en materia hídrica reclama de nuevas conductas para atender la parte ambiental, y la CALL pue-

de representar una estrategia hídrica que empuje hacia comportamientos de sostenibilidad que permitan sortear la complejidad hídrica, así como una herramienta importante para afrontar el cambio climático de forma local y para otras regiones en México.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Casillas, M. (2019). Regiones y desarrollo sustentable El Zapotillo: Agua, desarrollo y reconfiguraciones regionales. *Regiones y Desarrollo Sustentable*, XIX(37): 169-195. [https://www.academia.edu/41242465/Regiones\\_y\\_Desarrollo\\_Sustentable\\_El\\_Zapotillo\\_agua\\_desarrollo\\_y\\_reconfiguraciones\\_regionales](https://www.academia.edu/41242465/Regiones_y_Desarrollo_Sustentable_El_Zapotillo_agua_desarrollo_y_reconfiguraciones_regionales)
- Castilla, J., García, L., Mesa, A., Quintero, N., y Rapp, R. (2009). Agua y políticas de posdesarrollo. Saberes sometidos y gestión de la demanda. AECID.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2018). Base de datos climatológica estación 11040. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/resources/diarios/11040.txt>
- . (2020a). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Silao-Romita (1110), estado de Guanajuato. [https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/edos\\_acuiferos\\_18/guanajuato/dr1110.pdf](https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/edos_acuiferos_18/guanajuato/dr1110.pdf)
- . (2020b). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero del Valle de León (1113), estado de Guanajuato. [https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos\\_Acuiferos\\_18/guanajuato/dr\\_1113.pdf](https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/guanajuato/dr_1113.pdf)
- Comisión Estatal del Agua de Guanajuato. (2014). Diagnóstico sectorial de agua potable y saneamiento. [https://agua.guanajuato.gob.mx/pdf/publicaciones/diagnostico\\_cea\\_2014.pdf](https://agua.guanajuato.gob.mx/pdf/publicaciones/diagnostico_cea_2014.pdf)
- . (2018). Diagnóstico sectorial de agua potable y saneamiento. <https://agua.guanajuato.gob.mx/pdf/publicaciones/diagnostico-cea-2018.pdf>
- Concha, P., Campos, J. P., Lall, U., y Ennenbach, M. (2020). A city-wide assessment of the financial benefits of rainwater harvesting in Mexico City. *Journal of American Water Resources Association*, 56(2): 247-269. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12823>
- Gleason, J. A. (2014a). Household model of rainwater harvesting system in Mexican urban zones. *Journal Southeast University*, 30(2): 175-180. doi: 10.3969/j.issn.1003-7985.2014.02.007
- . (2014b). *Sistemas de agua sustentables en las ciudades*. México: Trillas.
- Gleason, J. A., Corona, Y., y Casiano, C. (2020). Mexican rainwater harvesting movement in recent years. En: J. A. Gleason (Coord.), *International rainwater catchment systems experiences* (pp. 73-82). IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781789060584xix>
- Gleason, J. A., y Corona, Y. (2020). The importance of rainwater catchment systems. En: J. A. Gleason (coord.), *International rainwater catchment systems experiences* (pp. 3-11). IWA Publishing. [https://doi.org/10.2166/9781789060584\\_xix](https://doi.org/10.2166/9781789060584_xix)
- Herrera, J., Tagle, D., y Rodríguez, J. A. (2018). La adopción de ecotecnologías: Una revisión desde la economía conductual. En: D. Tagle y J. Herrera (coord.), *Análisis multidimensional en la implementación de ecotecnias. Reflexiones teórico-prácticas* (pp. 73-81). Fontamara.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2019). *Sistemas de información de tarifas de agua potable*. Jiutepec, México.
- Instituto Municipal de Planeación. (2019). Diagnóstico del municipio de León, Guanajuato, 2019. Recuperado el 20 de enero de: [https://www.implan.gob.mx/downloads/Diagnostico\\_Municipal\\_de\\_Leon\\_2019.pdf](https://www.implan.gob.mx/downloads/Diagnostico_Municipal_de_Leon_2019.pdf)
- . (2020). Programa Municipal de Desarrollo Urbano y de Ordenamiento Ecológico y Territorial de León, Gto. Versión integral. <https://www.implan.gob.mx/planeacion-estrategica.php#:~:text=Ecol%C3%B3gico%20Territorial%202020-,El%20Programa%20Municipal%20de%20Desarrollo%20Urbano%20y%20Ordenamiento%20Ecol%C3%B3gico%20y,condiciones%20ambientales%20y%20los%20asentamientos>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). Resultados Censo de Población y Vivienda 2020. <https://censo2020.mx/>
- . (s/f). Mexicano de tecnología del agua. <http://187.189.183.90/#>
- Karim, R., Sakib, S., Sakib, B. M., e Imteaz, M. (2021). Rainwater harvesting potentials in commercial buildings in Dhaka: Rehabilitate and Economic Analysis. *Hydrology*, 8(9): 2-16. <https://doi.org/10.3390/hydrology8010009>

- Kniffen, B. (2020). Harvesting the potential. En: J. A. Gleason (coord.), *International rainwater catchment systems experiences* (pp. 31-40). IWA Publishing. [https://doi.org/10.2166/9781789060584\\_xix](https://doi.org/10.2166/9781789060584_xix)
- Ortiz, J., Malagón, S., y Masera, O. (2015). Ecotecnología y sustentabilidad: Una aproximación para el sur global. *Interdisciplina, Revista UNAM*, 3(5): 193-215. <http://dx.doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2015.7.52391>
- Ortiz, J., Masera, O., y Fuentes, A. (2014). La ecotecnología en México. Unidad de Ecotecnologías. Morelia: Imagia/CIECO/UNAM. <https://islaurbana.mx/wp-content/uploads/2017/06/la-ecotecnolog-a-en-m-xico-ene-2015-br.pdf>
- Peniche, S., y Chávez, P. (2021). Las ecotecnias como factor de sustentabilidad. El caso de las biopiscinas municipales en la ciudad de Guadalajara. *Revista de Investigación de Paisajes y Espacio Construido*, 1(1): 4-17. <http://www.revistahatsohnini.com.mx/articulos>
- Perero, E. (2019). Agua y economía circular. España: Conama. <http://www.fundacionconama.org/wp-content/uploads/2019/09/Agua-y-economia%cc%81a-circular.pdf>
- Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León. (2014). Presa El Zapotillo, agua para siempre. Comunicados de prensa. <https://www.sapal.gob.mx/noticia/91#:~:text=La%20Presa%20El%20Zapotillo%2C%20uno,hidr%C3%A1ulica%20de%20la%20actual%20administraci%C3%B3n>
- . (2020). Estaciones meteorológicas. León, México: Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León. <https://www.sapal.gob.mx/est-meteorologicas>
- Sosa-Martínez, A., Narchi, N., Leal-Bautista, R. M., Fraustro-Martínez, O., y Casas-Beltrán, D. (2020). Percepción y uso del agua de lluvia por usuarios en una comunidad del Caribe mexicano. *Ambiente y Sociedad*, núm. 23, pp. 1-27. <https://doi.org/10.31840/sya.vi23.2166>
- Tagle, D., Azamar, A., y Caldera, A. (2018). Cosecha de agua de lluvia como resiliencia hídrica para León, Guanajuato: Una reflexión desde la nueva cultura del agua. *Expresión Económica*, núm. 40, pp. 5-23. <https://agua.org.mx/biblioteca/cosecha-de-agua-de-lluvia-como-alternativa-para-la-resiliencia-hidrica-en-leon-guanajuato-una-reflexion-desde-la-nueva-cultura-del-agua/>
- Tagle, D., y Caldera, A. (2021). Corporativización de tipo neoliberal en la gestión del agua en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 12(2). doi: 10.24850/j-tyca-2021-02-05
- Vargas, D. M., y Lomnitz, E. (2020). Catalyzing the widespread adoption rainwater harvesting in Mexico City. En: J. A. Gleason (coord.), *International rainwater catchment systems experiences* (pp. 107-118). IWA Publishing. [https://doi.org/10.2166/9781789060584\\_xix](https://doi.org/10.2166/9781789060584_xix)



## RESEÑA

# Libro: El arte y la ciudad: Posibilidades del arte en el espacio público

**ALEJANDRA VILLAGRANA GUTIÉRREZ**

Universidad de Guadalajara, México. <https://orcid.org/0000-0001-6084-035X>

Correo electrónico: [alejandra.villagrana@academicos.udg.mx](mailto:alejandra.villagrana@academicos.udg.mx)

El estudio del espacio público vinculado a las transformaciones que se van suscitando en nuestro entorno urbano es el centro de este trabajo, que parte del análisis del arte como un medio de apropiación del espacio público y como un elemento representativo de estos espacios urbanos.

El tema central de esta publicación se desglosa del trabajo de la tesis doctoral de la doctora Isabel López Pérez desarrollada dentro del Doctorado en Ciudad, Territorio y Sustentabilidad, del Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara. En el cual expone ideas, conceptos y teorías vinculados a la categoría del arte en la ciudad, compartiendo experiencias por parte de distintos usuarios del espacio público en Guadalajara, buscando con ello evidenciar escenarios de apropiación e identidad.

Dentro de la estructura de los tres capítulos del libro, la autora explica el rol del espacio público en la ciudad contemporánea del siglo XXI, desde las perspectivas y bajo el enfoque de distintos autores. Haciendo una clara definición de lo que es arte y arte público, a la vez de explicar los problemas vinculados a su descripción y conceptualización. En el último capítulo analiza

cómo el arte puede funcionar como medio de apropiación del espacio público y como un medio de legibilidad de la ciudad contemporánea, brindándonos un recorrido por el arte público de Guadalajara, específicamente en el corredor cultural Chapultepec.

La autora define a la ciudad como un constructo cultural complejo, pero altamente atractivo. Y explica cómo las transformaciones en la misma vinculadas a las dinámicas sociales han impactado lo que sucede en el espacio público. En su concepto ideal, el espacio público se visualiza como un sitio inclusivo y accesible para todos, que promueve el intercambio de ideas, el bien común y la diversidad. Considerando que además es un sitio de expresión, manifestación y protesta. Aunque también se hace evidencia que existen espacios públicos menos frecuentados o incluso en abandono, contrastando con aquellos que resultan atractivos y a los que asisten gran número de personas.

Sin embargo, es importante considerar que el espacio público es parte fundamental de la ciudad, es donde el individuo manifiesta su colectividad, donde se comparten las diferencias, disfruta, reconoce y hace propia a la ciudad.

Dentro de la estructura del documento, la doctora Isabel López se ha planteado el siguiente cuestionamiento (como uno de los puntos centrales del presente trabajo): “¿De qué manera el arte público puede contribuir a revertir la citada crisis del espacio público y con ello posibilitar cada vez más espacios de convivencia plural?”.

Frente esta pregunta la autora responde con una postura que posiciona al arte como una expresión humana que tiene la capacidad de permitir el acercamiento a diferentes maneras de pensar, de ver la vida y de relacionarse con el mundo. Su riqueza se encuentra en que para cada persona puede significar algo distinto y que por consecuencia lo interprete a través de sus experiencias y conocimientos.

Y así, cuando el arte se ubica en el espacio público, la posibilidad de transformarlo se diversifica y permite la interacción con las personas. Esto significa un reto para la pieza de arte público, porque tiene que ser capaz de comunicar y hacerse legible para distintos niveles culturales, económicos y sociales, así como adaptarse a la diversidad de formas de ser y de pensar.

Como segundo cuestionamiento manifiesta: ¿para qué sirve el arte público en la ciudad? Ante esto la autora responde que el arte puede convertirse en un elemento significativo para la ciudad, guardado en la memoria de sus habitantes. Y específicamente el arte público puede ser utilizado para distintos fines, entre los que destacan embellecer y monumentalizar la ciudad, para hacerla más legible y comprensible para sus habitantes. Además sirve a la crítica y la protesta, así como para transformar, regenerar comunidades, tejidos sociales y entornos vulnerables. Invita a la vinculación, la reflexión, a ser colaborativo, a significar un sitio, volverlo más estético y agradable a los sentidos.

El arte puede servir para darle un significado al espacio público. Cuando el arte se coloca en un espacio que pertenece a todos, debe contribuir a su transformación y convertirlo en un lugar. Esto hará que se convierta en un hito y quede guardado en la memoria colectiva, mejorando el

aspecto simbólico de la ciudad y la forma en que sus habitantes la imaginan y la perciben.

Parte de este análisis permite exponer el arte público como un elemento de significado e identidad para los habitantes de las ciudades. Al ser un elemento que permite leer e imaginar la ciudad, pero que además proporciona elementos de representación así como lucha de colectivos y masas, se considera de esta manera un elemento representativo de nuestra sociedad.

Ejemplificando esta situación, el corredor cultural Chapultepec es un referente de la identidad y cultura de la ciudad de Guadalajara, en el cual se han manifestado diferentes expresiones del arte público (permanentes y temporales), desde monumentos, hitos, esculturas, hasta actividades artísticas que evidencian las distintas formas de expresión del colectivo de arte que habita en esta ciudad, el cual la autora toma como un estudio de caso y de observación.

El análisis de esta zona pudo comprobar que existen algunos procesos de apropiación a través de la identificación, en donde las personas utilizan el arte público como un elemento de referencia o a manera de hitos para orientarse. Con los resultados obtenidos con este caso muy particular, se pudo concluir que en el área del corredor cultural Chapultepec el arte sirve como un medio para la apropiación del espacio público.

La conclusión de este trabajo pone en evidencia que el arte público es para sus habitantes un elemento de belleza, identificación, expresión, educación, manifestación y apropiación. Pero que además permite ser un elemento de participación y comunidad. Y como una de las sugerencias que se manifiestan es que debe de promoverse la creación de programas que difundan el conocimiento del arte público en Guadalajara y zonas aledañas, así como la incorporación de nuevas manifestaciones artísticas (tanto de carácter temporal como permanente) y que permitan a las personas un acercamiento al arte.

La reflexión final a la que se llega en el presente trabajo se manifiesta en que pudo comprobarse que la ciudad es algo más que los elementos físicos que la integran, es también la imagen que

sus habitantes tienen de ella, sus memorias, los sitios que frecuentan, los hitos de referencia, los lugares con los que se sienten identificados y de los que pueden apropiarse. Enfatizando que el verdadero arte público se construye con la participación de todos y desde la colectividad.

Se invita al lector interesado en el estudio del arte y el espacio público a generar una reflexión

en torno a la lectura para que pueda visualizar este espacio como un nodo clave de vínculos e interacciones de las actividades y manifestaciones humanas y artísticas. Siempre propenso a las transformaciones sociales, culturales y económicas que puedan suscitarse a través del tiempo.



## Acerca de los autores

### **MARÍA GUADALUPE ALPUCHE CRUZ**

Profesora-investigadora de tiempo completo en el Departamento de Arquitectura y Diseño, Universidad de Sonora, de 2005 a la fecha. Doctorado en Ingeniería, Especialidad en Diseño Bioclimático, Centro de Investigaciones en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México. Mención honorífica en el examen de Licenciatura en Arquitectura. Mención honorífica en el examen de grado de la Maestría en Arquitectura. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Conacyt, nivel I. Reconocimiento a profesores de tiempo completo con perfil deseable Prodep-SEP. Correo electrónico: [guadalupe.alpuche@unison.mx](mailto:guadalupe.alpuche@unison.mx)

### **DAVID CARLOS ÁVILA RAMÍREZ**

Profesor-investigador en la Universidad de Guadalajara. Arquitecto por la Universidad de Guadalajara. Doctorado en Arquitectura y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Cataluña. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), nivel I. Su especialidad se centra en el ahorro de energía en arquitectura. En 2016 recibió mención honorífica de la XIV Bienal

de Arquitectura Mexicana: Libros. Federación de Colegios de Arquitectos de la República. Correo electrónico: [david.aramirez@academicos.udg.mx](mailto:david.aramirez@academicos.udg.mx)

### **ALEX CALDERA ORTEGA**

Profesor-investigador en el Departamento de Gestión Pública y Desarrollo de la División de Ciencias Sociales y Humanidades, Campus León, de la Universidad de Guanajuato (UG). Doctor en Investigación en Ciencias Sociales, mención en Ciencia Política, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, sede académica México. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel 1. Realiza investigación en el área de ciencia política, particularmente políticas públicas. Fue director de la División de Ciencias Sociales y Humanidades del Campus León de la Universidad de Guanajuato. Es miembro del Cuerpo Académico Agua, Energía y Cambio Climático; actualmente trabaja temas de gestión del agua, residuos y acciones para mitigación y adaptación de cambio climático en ciudades. Correo electrónico: [arcaldera@ugto.mx](mailto:arcaldera@ugto.mx)

### **FÁTIMA ANAHÍ CÓRDOVA BORBÓN**

Licenciatura en Arquitectura en el Tec CSN, donde participó en un programa internacional en la ciudad de Curitiba, en Brasil, en la PUCP. Grado de especialidad en la Unison en Energía y Medio Ambiente en Arquitectura. Maestría por la UPC en Barcelona, en Arquitectura, Energía y Medio Ambiente. Colaboradora desde el año 2014 en el Tecnológico de Monterrey como profesora de cátedra, colaborando en materias relacionadas con la arquitectura bioclimática, eficiencia energética y proyectos. Nomenclatura de secretaria General en el Colegio de Arquitectos de la Ciudad de Hermosillo; doctorante en Humanidades en la línea de arquitectura en la Unison. Correo electrónico: fatima.cordova@unison.mx

### **JESÚS ÁNGEL ESTRADA AYUB**

Docente-investigador en la Facultad de Zootecnia y Ecología, UACH. Doctor en Ciencia de Materiales. Especialista en Ecología Industrial y Medio Ambiente, así como en el desarrollo, síntesis y diseño de materiales avanzados para celdas fotovoltaicas híbridas. Correo electrónico: aayub@uach.mx

### **SELENNE GALEANA CRUZ**

Doctorado en Urbanismo con mención honorífica, obtenido por la Universidad Nacional Autónoma de México y Postdoctoral Fellow en University of California, Los Angeles (UCLA), USA.. Además ha cursado varios diplomados, a saber, en Metodología de Investigación Cualitativa y Cuantitativa y en Docencia, ambos en la UNAM. Es evaluadora en revistas indexadas internacionales y nacionales. Cuenta con experiencia profesional en consultoría y en el ámbito público federal, y ha sido docente en varias universidades públicas y privadas desde 2011, como en la Universidad de Guadalajara, la Universidad Autónoma de Guerrero, la Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad Iberoamericana. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I, cuya área de investigación concierne al espacio público y la vivienda enfocados en la percepción

de seguridad, habitabilidad, diseño y turismo, principalmente. Correo electrónico: selenne.galeanacruz@fa.unam.mx

### **CHRISTIAN HERNÁNDEZ CÁRDENAS**

Estudiante del Doctorado en Ciudad, Territorio y Sustentabilidad de la Universidad de Guadalajara (2019-2022). Maestro en Proyectos y Edificación Sustentables por el ITESO (2016-2018). Arquitecto por el ITESM campus Guadalajara (2002-2007). Desde 2019 es profesor de asignatura en el ITESO, asesorando como experto en el área de construcción con materiales alternativos y de bajo impacto ambiental. Además, ha colaborado con el IMEPLAN para la elaboración de las normas técnicas complementarias para construcción con madera del Área Metropolitana de Guadalajara.

### **NATHALIE S. HERNÁNDEZ QUIROZ**

Docente-investigadora en la Facultad de Zootecnia y Ecología, UACH. Doctora en Ciencias Ambientales. Miembro del SNI (nivel Candidato). Especialista en manejo, monitoreo y evaluación de recursos naturales. Correo electrónico: nhernandez@uach.mx

### **LUZ ILEANA JIMÉNEZ PINEDA**

Licenciatura en Derecho en la Universidad de Guadalajara, cursando el penúltimo año en la Universidad Autónoma de Barcelona. Fue jefa del Departamento de Dictaminación, Subdivisiones y Régimen de Condominio en la Dirección de Planeación y Desarrollo Urbano del Ayuntamiento de Tonalá del año 2009 a 2015. Colaboró en la elaboración y diseño de las “Normas Integrales de Redensificación Urbana del Municipio de Tonalá” en el año 2014. Colaboradora en el diseño del Programa Estatal de la Vivienda en el año 2015. Asesora legal de organizaciones civiles para la participación ciudadana en la gestión municipal. Actualmente es abogada especializada en el área del derecho urbano; jefa de oficina del área jurídica de la Procuraduría de Desarrollo Urbano, y maestra en Procesos de Proyección Urbana por la Universidad de Guadalajara con

el tema de investigación en “Vivienda Adecuada y Satisfacción Residencial”. Correo electrónico: luzjimenezp@yahoo.com.mx

### **JORGE LUCERO ÁLVAREZ**

Docente-investigador en la Facultad de Zootecnia y Ecología, UACH. Doctor en Ciencia y Tecnología Ambiental. Miembro del SNI (nivel Candidato). Especialista en Modelación Energética de Edificios, Experimentación y Análisis de Transferencia de Calor a Través de la Envolvente de Edificios. Correo electrónico: jluceroa@uach.mx

### **IRENE MARINCIC LOVRIHA**

Profesora-investigadora de tiempo completo, por tiempo indeterminado, nivel titular “C”, Departamento de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Sonora. Doctora en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos (Ingeniería Civil). Programa de doctorado: “Àmbits de Recerca en la Construcció i l’Energia a l’Arquitectura”, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) nivel II. Correo electrónico: irene.marincic@unison.mx

### **JUAN ANTONIO RODRÍGUEZ GONZÁLEZ**

Sociólogo. Maestría en Desarrollo Regional por la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Doctorado en Ciencias Sociales por la Universidad de Guadalajara. Realizó una estancia posdoctoral en el grupo de investigación del doctor Enrique de la Garza. Fue director del Departamento de Estudios Sociales y secretario Académico de la División de Ciencias Sociales y Humanidades. Su línea de investigación versa sobre empresas y empresarios en el desarrollo local. Es responsable y fundador del Observatorio Laboral para Estudios Sociales, y del Laboratorio de Políticas Públicas para el Desarrollo Local. Es coordinador y fundador del Seminario Permanente de Estudios del Trabajo. Miembro del SNI del Conacyt. Correo electrónico: ja.rodriuezgonzalez@ugto.mx

### **MARIDALÍA RODRÍGUEZ PADILLA**

Investigadora posdoctoral en la Cátedra UNESCO de Vivienda; y profesora asociada en el Departamento de Derecho Civil y Financiero de la Universidad Rovira i Virgili (URV) en Tarragona, España. Doctora en Derecho por la Universidad de Barcelona (UB), donde obtuvo la Excelencia Cum Laude, Maestría en Investigación Avanzada y Especializada en Derecho por la Universidad de Murcia (UMU), reconocida como Magíster Honorable, y Licenciada en Derecho por la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD) con la distinción Magna Cum Laude. Se ha especializado en temas de vivienda e instrumentos jurídicos financieros para el acceso a la vivienda asequible, y actualmente estudia la vivienda urbana y el derecho a la ciudad. Ha participado en distintos proyectos de investigación, como el “Proyecto sobre vehículos financieros y vivienda asequible” del Housing Research Group (HRG), el “Certificado de Buena Gestión de Vivienda Social (CVS)”, uno de los proyectos ganadores de la convocatoria 2020 del Research To Business (R2B) de la Fundación URV, y el actual proyecto “Vivir en comunidad: nuevas reglas para un nuevo paradigma” del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España. Asimismo, ha presentado ponencias en varios congresos, nacionales e internacionales, entre los que destacan el Tenlaw Conference, organizado por la Universidad de Malta. Correo electrónico: maridalia.rodriuez@urv.cat

### **DANIEL TAGLE ZAMORA**

Profesor-investigador de tiempo completo en el Departamento de Estudios Sociales de la Universidad de Guanajuato, Campus León. Doctor en Ciencias Económicas por la Universidad Autónoma Metropolitana. Miembro del SNI del Conacyt y responsable del Cuerpo Académico Consolidado 179-UG Agua, Energía y Cambio Climático. Sus líneas de investigación son: gestión del agua urbana; gestión de los residuos sólidos urbanos; ecotecnias; adaptación y mitigación para el cambio climático, así como procesos de descarbonización en grandes ciudades. Correo electrónico: datagle@yahoo.com.mx

**ALEJANDRA VILLAGRANA GUTIÉRREZ**

Licenciada en Arquitectura por el Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño (CUAAD) de la Universidad de Guadalajara. Maestra en “Procesos y Expresión Gráfica para la Proyección Arquitectónica Urbana” y Doctora en “Ciudad, Territorio y Sustentabilidad” por el mismo centro universitario. Actualmente se desempeña como profesora investigadora en la Licenciatura en Urbanística y Medio Ambiente del CUAAD de la Universidad de Guadalajara donde desarrolla su línea de investigación “Arquitectura y Urbanismo Sustentable”. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) con nivel Candidato. Secretaria Técnica e integrante del Núcleo Académico Básico del Doctorado en Innovación para el Hábitat Sustentable (DIHS) del CUAAD de la Universidad de Guadalajara y Jefa de la Unidad de Investigación y Desarrollo de la sede de la Universidad de Guadalajara del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables (LNVCS) de Conacyt. Correo electrónico: alejandra.villagrana@academicos.udg.mx