

REVISTA CIENTÍFICA

VIVIENDA Y COMUNIDADES SUSTENTABLES

Enero-Junio 2025 Año 9 Núm. 17
ISSN: 2594-0198

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i17>



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 Mariana Villada Canela
Coordinación editorial Celina Yunuén Castillo Moya
Asistente editorial Carolina Ávila Escobedo

COMITÉ EJECUTIVO

Gabriel Castañeda Nolasco (Universidad Autónoma de Chiapas-México), José Luis Sandoval Granados (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).

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 Iriás (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), Nuri 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 9, Núm. 17, enero-junio 2025 es una publicación digital, en forma semestral editada por la Universidad de Guadalajara a través del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables (LNVCS) SECIHTI 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. 38589 revista.lnvcs@gmail.com Dirección web: <http://www.revistavivienda.cuaad.udg.mx>. Editora Responsable: Mariana Villada Canela. 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 enero de 2025.

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 SECIHTI, al formar parte de su estrategia editorial.

Contenido

Editorial.

Hacia ciudades resilientes: Una mirada multidimensional
a la sustentabilidad urbana en México 7
Mariana Villada Canela

Islas de calor urbana superficiales en Toluca y Zinacantepec,
estado de México en 2022 9
Martín David Rosas Martínez y Salvador Adame Martínez

Índice de necesidad de espacios verdes públicos en
el municipio de Guadalajara 2018-2021 25
Carlos Delhdari Correa Gordillo y Luis Fernando Álvarez Villalobos

Análisis de movilidad laboral y estudiantil en la Zona Metropolitana de Toluca 47
Israel Vázquez Moran, Eduardo Jiménez López y Salvador Adame Martínez

La modulación del concreto reciclado como estrategia
de sustentabilidad en vivienda autoproducida 69
Alberto Muciño Velez, Antonio Tahuítón-Mora y César Armando Guillén-Guillén

Infraestructura verde para prevención de inundaciones
en conjuntos habitacionales de interés social en zona árida 85
**Ana Waleska Arvizu Juvera, Juan Pedro Ayala Moreno y
Héctor Manuel Guzmán Grijalva**

Reseña

The Equitably Resilient City: Solidarities and Struggles in the Face of Climate Crisis 101
Mariana Villada Canela

Acerca de los autores 105

Editorial. Hacia ciudades resilientes: Una mirada multidimensional a la sustentabilidad urbana en México

MARIANA VILLADA CANELA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA, MÉXICO. ORCID: 0000-0003-1282-3250

Correo electrónico: mvilladac@uabc.edu.mx

La búsqueda de la sustentabilidad urbana representa uno de los mayores retos que afrontan las ciudades contemporáneas. En el contexto mexicano, donde la rápida urbanización se entrelaza con desigualdades socioespaciales históricas, la necesidad de soluciones innovadoras y multidimensionales es imperativa. Los artículos presentados en este número abordan esta complejidad desde diversas escalas y perspectivas, ofreciendo un panorama integral de los desafíos y oportunidades en la construcción de ciudades más resilientes y sustentables.

La comprensión de los fenómenos urbano-ambientales emerge como un primer eje fundamental. El estudio sobre “*Islas de calor urbana superficiales en Toluca y Zinacantepec, estado de México en 2022*” revela cómo la interacción entre el tejido urbano y los factores ambientales genera impactos en la habitabilidad de nuestras ciudades. La identificación de variaciones térmicas vinculadas al uso del suelo y la densidad de construcción no solo evidencia la necesidad de repensar nuestros modelos de desarrollo urbano, sino que también se relaciona directamente con estrategias de infraestructura verde que permitan mitigar sus efectos.

Esta dimensión ambiental se entrelaza íntimamente con la justicia espacial, como lo demuestra el análisis del “*Índice de necesidad de espacios verdes públicos en el municipio de Guadalajara 2018-2021*”. La investigación revela no solo las

desigualdades existentes en el acceso a estas infraestructuras vitales, sino también el potencial transformador de intervenciones estratégicas como los parques de bolsillo. Estos espacios no solo mejoran la calidad ambiental, sino que también impactan positivamente en la salud y el bienestar de las comunidades, reforzando la idea de que la sustentabilidad urbana no puede desligarse de la equidad social.

La movilidad urbana emerge como otro componente esencial en la ecuación de la sustentabilidad. El “*Análisis de la movilidad laboral y estudiantil en la zona metropolitana de Toluca*” y la región centro de México ilumina las complejas dinámicas que vinculan vivienda, empleo y educación. Los hallazgos sobre los desequilibrios en los flujos de población evidencian la urgencia de diseñar ciudades con estructuras más integradas que reduzcan la necesidad de desplazamientos extensos, contribuyendo a una menor huella de carbono y a una mejor calidad de vida para los habitantes.

En el ámbito de la innovación tecnológica, la exploración de sistemas constructivos mediante “*La modulación del concreto reciclado como estrategia de sustentabilidad en vivienda autoproducida*” representa un avance relevante hacia la sustentabilidad en la construcción. Este enfoque no solo aborda la dimensión ambiental mediante el reciclaje de materiales, sino que también considera la realidad social de la autoproducción de

vivienda, tan prevalente en el contexto mexicano. La investigación demuestra que es posible conjugar la innovación tecnológica con las prácticas constructivas existentes, aunque se deben superar importantes retos normativos y técnicos para su implementación a gran escala.

Complementando esta visión, la evaluación de *“Infraestructura verde para prevención de inundaciones en conjuntos habitacionales de interés social en zona árida”*, concretamente en la ciudad de Hermosillo, ofrece evidencias sobre la eficacia de soluciones basadas en la naturaleza (SBN). Los resultados, que muestran reducciones importantes en el escurrimiento pluvial, sugieren un camino prometedor para la adaptación al cambio climático en entornos urbanos. Además, este estudio resalta la importancia de integrar estrategias de gestión del agua en el diseño urbano para enfrentar los desafíos de la escasez hídrica y la resiliencia climática.

Estos estudios, en su conjunto, revelan la naturaleza multifacética de la sustentabilidad urbana y la necesidad de aproximaciones integradas que consideren simultáneamente las dimensiones ambiental, social y tecnológica. Las investigaciones presentadas no solo contribuyen al acervo de conocimiento científico, sino que también ofrecen herramientas concretas para la toma de decisiones en política pública y la planificación urbana sostenible.

Los hallazgos colectivos se alinean con las metas globales establecidas en la Agenda 2030 de la ONU, particularmente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 11, que busca lograr ciudades inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. Para avanzar en esta dirección, es necesario fortalecer tres aspectos clave:

1. El desarrollo de metodologías que permitan evaluar de manera holística los impactos de las

intervenciones urbanas, considerando tanto sus efectos ambientales como sociales.

2. La generación y aplicación de marcos regulatorios que faciliten la adopción de innovaciones tecnológicas sustentables, particularmente en el sector de la construcción y la infraestructura urbana.
3. La creación de mecanismos de gobernanza efectivos que permitan la implementación de soluciones basadas en la naturaleza y garanticen una distribución equitativa de sus beneficios.

La transición hacia ciudades más sustentables requiere no solo de innovaciones tecnológicas y diseños urbanos más eficientes, sino también de un replanteamiento fundamental de cómo conceptualizamos y gestionamos nuestros espacios urbanos. Esta edición de la revista “Vivienda y Comunidades Sustentables” nos muestra que la transición es posible, pero requiere un compromiso sostenido con la investigación rigurosa, la innovación tecnológica y la equidad social. Las herramientas y conocimientos presentados en estos estudios nos acercan un paso más a la construcción de ciudades verdaderamente resilientes y sustentables.

ria; a partir del principio que el espacio habitable se conforma por una dimensión material y otra simbólica, es decir el espacio físico y su relación con el hombre. Finalmente, la quinta contribución expone procesos de producción sustentable para su uso en procesos de enseñanza- aprendizaje. Los temas abordados en los dos últimos trabajos coadyuvan en el entendimiento de la relación existente entre el territorio y el habitante; así como en conjunto el volumen proporciona una base para el planteamiento de estrategias de producción social del hábitat.

Islas de calor urbanas superficiales en Toluca y Zinacantepec, estado de México en 2022

Surface urban heat islands in Toluca and Zinacantepec, state of Mexico in 2022

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i17.299>

MARTÍN DAVID ROSAS MARTÍNEZ*

Universidad Autónoma del Estado de México, México. ORCID: 0009-0006-5746-6110

Correo electrónico: mdrosasm@hotmail.com

*Autor de correspondencia

SALVADOR ADAME MARTÍNEZ

Universidad Autónoma del Estado de México, México. ORCID:0000-0002-4499-0099

Correo electrónico: sadamem@uaemex.mx

Recepción: 3 de julio de 2024. Aceptación: 22 de agosto de 2024

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo analizar las islas de calor urbanas superficiales (ICUS) en Toluca y Zinacantepec, México, durante 2022, para explicar su comportamiento y distribución en relación con el uso del suelo. Se utilizaron imágenes del satélite Landsat 8 para estimar la temperatura superficial. La metodología incluyó extracción y procesamiento de información, análisis espacial de las islas de calor y uso de herramientas de sistemas de información geográfica (SIG). Los resultados muestran variaciones significativas en la intensidad de las ICUS según la estación, las que son más pronunciadas en verano y más moderadas en otoño. Las áreas industriales y las superficies con menor cobertura vegetal presentaron las temperaturas más altas, mientras que las de mayor vegetación mostraron temperaturas más bajas. Las limitaciones del estudio incluyen la falta de información detallada sobre la distribución de factores que influyen en las ICUS, la dependencia de imágenes satelitales con condiciones atmosféricas específicas, y la variabilidad temporal y espacial de las islas de calor, lo que

dificulta la generalización de los resultados. El aporte del trabajo es la identificación de los factores que contribuyen a la formación de las islas de calor urbanas en Toluca y Zinacantepec. Al señalar la influencia de la densidad de construcción, los materiales que retienen calor y la falta de vegetación, el estudio proporciona información esencial para desarrollar políticas urbanas y estrategias de planificación efectivas, para mejorar la calidad de vida al mitigar el impacto del calor extremo en las zonas urbanas.

Palabras clave: estructura urbana, percepción remota, temperatura superficial, uso de suelo, isla de calor urbana

ABSTRACT

This study aims to analyze surface urban heat islands (SUHI) in Toluca and Zinacantepec, Mexico, during 2022, to explain their behavior and distribution in relation to land use. Using remote sensing data and spatial analysis, Landsat 8 satellite images were processed to estimate surface temperature. The methodology included infor-



mation extraction and processing, spatial analysis of heat islands, and the use of geographic information system (GIS) tools. The results show significant variations in SUHI intensity according to the season, being more pronounced in summer and more moderate in autumn. Industrial areas and regions with less vegetation cover had the highest temperatures, while areas with more vegetation showed lower temperatures. The study's limitations include the lack of detailed information on the distribution of factors influencing SUHI, the dependence on satellite images with specific atmospheric conditions, and the temporal and spatial variability of heat islands, making it challenging to generalize the results. A significant contribution of the work is the precise identification of factors contributing to the formation of urban heat islands in Toluca and Zinacantepec. By detailing the influence of building density, heat-retaining materials, and lack of vegetation, the study provides essential information for developing effective urban policies and planning strategies, thus improving quality of life by mitigating the impact of extreme heat in urban areas.

Keywords: urban structure, remote sensing, surface temperature, land use, urban heat island

INTRODUCCIÓN

El proceso de urbanización acelerado ha traído consigo un fenómeno preocupante: las islas de calor urbanas superficiales (ICUS), que se caracterizan por temperaturas elevadas en comparación con sus alrededores; ello es un claro ejemplo del impacto de la actividad humana en el clima local, que afecta tanto la salud como al medio ambiente.

El fenómeno de la isla de calor urbana se caracteriza por la diferencia de temperatura entre áreas urbanas y rurales. Este fenómeno surge de dos procesos interrelacionados: 1) la transformación de suelos naturales en artificiales, con materiales de mayor inercia térmica, y 2) las actividades humanas asociadas a la producción y el consumo de energía. Estos procesos, junto con el

crecimiento poblacional y la expansión urbana, alteran el clima local y comprometen la seguridad de las ciudades (Córdova, 2011).

Según cómo se midan, las islas de calor urbanas se pueden categorizar en dos tipos: 1) las atmosféricas (ICUA), que se detectan a través de la temperatura del aire situada entre la cobertura del dosel y la capa límite de la ICU, y 2) las superficiales (ICUS), que se determinan a partir de las temperaturas de superficie terrestre por medio de la percepción remota. Aunque ambas presentan patrones espaciales parecidos, las ICUA suelen mostrar una mayor discrepancia térmica durante la noche, mientras que las ICUS lo hacen durante el día (Sarricolea y Romero, 2010).

Las ICUA se forman por la liberación de calor absorbido durante el día por los materiales urbanos, el cual se libera más lentamente durante la noche debido a su alta capacidad de almacenamiento térmico. Por otro lado, las ICUS se intensifican durante el día, debido a que los materiales de construcción urbanos, como el hormigón y el asfalto, absorben y almacenan más calor que las superficies naturales, lo que aumenta la temperatura de la superficie terrestre.

Además, es importante mencionar que estos fenómenos tienen diversas implicaciones para la calidad de vida en las ciudades, ya que pueden contribuir al calentamiento global, aumentar el consumo de energía (por ejemplo, para refrigeración), deteriorar la calidad del aire y afectar la salud humana, entre otros efectos.

Los impactos de las islas de calor se han estudiado ampliamente en las últimas décadas, y se han revelado implicaciones negativas en diversos aspectos. Las ICUS contribuyen al aumento de la demanda energética para la refrigeración, lo que a su vez incrementa las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación del aire. Además, las temperaturas elevadas pueden tener graves consecuencias para la salud humana, como golpes de calor, enfermedades respiratorias y cardiovasculares, e incluso un aumento de la mortalidad por las olas de calor (Sarricolea y Romero, 2010).

Las intensas olas de calor que han afectado importantes ciudades de Norteamérica y Europa entre 2003 y 2010 han generado un renovado interés en el análisis de las islas térmicas urbanas por parte de las comunidades científicas que estudian el ambiente y el clima urbano. Este renovado interés se debe principalmente a que el impacto de las olas de calor se ve magnificado por la formación de la isla térmica en las áreas urbanas. Por lo tanto, se ha puesto énfasis en caracterizar la intensidad y la extensión de estas islas de calor en sus componentes vertical (atmosférica) y horizontal (superficial), así como se ha intentado comprender las interacciones entre el dosel urbano y la atmósfera (Córdova, 2011).

La necesidad de analizar a fondo este fenómeno radica en que las islas de calor urbanas exacerban los efectos negativos de las olas de calor en las ciudades, lo cual representa un riesgo significativo para la salud y el bienestar de los residentes urbanos durante estos eventos climáticos extremos.

La descripción detallada del fenómeno de la isla de calor urbana requiere una red sofisticada de estaciones climáticas, radiómetros y sondeos atmosféricos verticales que facilitan la simulación de las variaciones atmosféricas en las zonas urbanas. Sin embargo, en los países latinoamericanos estas técnicas no son comúnmente utilizadas, por la falta de redes adecuadas y el alto costo de otras alternativas de detección. En estas situaciones, la utilización de sensores remotos con banda térmica se ha convertido en una opción científica factible para examinar la formación de la isla de calor urbana de superficie y calcular su alcance espacial y su intensidad (Voogt y Oke, 2003).

Los episodios de calor, que se intensifican con la formación de la isla de calor urbana, suelen ocurrir durante el verano en las latitudes subtropicales, o durante la temporada de sequía en las latitudes tropicales. El incremento de la radiación solar, asociado a las condiciones meteorológicas de la temporada de sequía o verano (altas presiones, cielos despejados), provoca también un aumento del calor superficial, lo que intensifica el estrés hídrico en la vegetación, la deshidratación del suelo y la sequedad del aire.

METODOLOGÍA

Esta investigación presenta una metodología para detectar y calcular la intensidad de las islas de calor urbanas superficiales, detallando los recursos y fuentes de información empleados.

La metodología propuesta busca superar las limitaciones actuales en la evaluación de las islas de calor urbanas superficiales (ICUS), considerando las variables que las generan. Se basa en la premisa de que es posible estimar la intensidad de las ICUS mediante el análisis del entorno urbano. El estudio se centra en Toluca y Zinacantepec, municipios que han experimentado un crecimiento urbano acelerado y cambios en el uso del suelo. Se utilizan imágenes satelitales y datos geográficos para analizar la relación entre el aumento de la temperatura superficial y la expansión urbana.

La elección de técnicas de percepción remota y análisis espacial se basa en su capacidad para proporcionar datos precisos y detallados sobre la temperatura superficial a través de grandes áreas geográficas. Las imágenes satelitales Landsat 8 fueron seleccionadas por su disposición, resolución espacial y temporal, lo que permite el monitoreo continuo de los cambios en la temperatura superficial urbana. Además, el uso de sistemas de información geográfica (SIG) facilita la integración y el análisis de diversos datos geoespaciales, y permite la mejor comprensión de la relación entre la superficie artificial (área urbana) y las islas de calor. Estas técnicas son cruciales para el objetivo del estudio, que es identificar y caracterizar las islas de calor urbano superficial (ICUS) en Toluca y Zinacantepec y evaluar su impacto en la gestión urbana y ambiental.

La expansión de las ciudades implica la sustitución de la vegetación natural por superficies artificiales, lo que reduce la capacidad del suelo para retener agua y, por consiguiente, el proceso de enfriamiento natural, por lo que la intensidad de las islas de calor depende de diversos factores, a saber: la densidad de construcción, la orientación de los edificios, las propiedades térmicas de los materiales utilizados y la disponibilidad

y configuración de los espacios abiertos y áreas verdes (Olalla y Calera, 2005).

El fenómeno de las islas de calor urbano superficial se manifiesta cuando las ciudades son más cálidas en comparación con las zonas rurales circundantes, debido a la transformación de superficies cubiertas de vegetación por materiales con alta capacidad térmica. Las superficies duras y artificiales, como el asfalto, el concreto y los tejados oscuros, tienen una gran capacidad para absorber el calor solar.

El proceso para determinar la intensidad de las islas de calor en la superficie urbana implica evaluar estos factores y su impacto en la temperatura. Sin embargo, la información detallada sobre la distribución de estos factores en la zona de estudio en diferentes momentos de análisis no está disponible, lo que limita la interpretación completa de los valores estimados.

La metodología consta de cinco etapas principales:

4. Extracción y procesamiento de información de percepción remota: Se obtienen imágenes satelitales Landsat 8 para las cuatro estaciones del año. Estas imágenes se seleccionaron para garantizar condiciones atmosféricas anticiclónicas y cielos despejados, lo que permite un análisis preciso de la temperatura superficial.
5. Generación y análisis de información de cambio de uso de suelo: Se utilizan polígonos de áreas geoestadísticas básicas (AGEB) y nomenclaturas de cobertura del suelo (CORINE Land Cover) para mapear el uso del suelo en la zona de estudio. Se clasifican las áreas en diferentes categorías, como áreas urbanas, comerciales, industriales y espacios verdes.
6. Análisis espacial e intensidad de las islas de calor: Se derivan las temperaturas de la superficie terrestre a partir de las imágenes satelitales Landsat 8. Se aplican correcciones atmosféricas y se utilizan métodos como el de valores mínimos del histograma y el método NEM para obtener estimaciones precisas de la temperatura. Luego, se calcula la intensidad de la isla de calor restando la tempera-

tura de una estación rural de referencia a la temperatura de cada píxel en las imágenes.

7. Análisis de resultados: Se establece una relación entre las categorías de uso de suelo y la intensidad de las islas de calor. Se asignan pesos cualitativos a cada categoría de uso de suelo según su grado de antropización (modificación humana).
8. Conclusiones: Sobre la base de los resultados del análisis, se extraen conclusiones sobre la relación entre la zona urbana y la formación de islas de calor en la ZMT. Se discuten las implicaciones de estos hallazgos para la planeación urbana y el desarrollo sostenible.

Los materiales utilizados en esta investigación incluyen:

- Imágenes satelitales Landsat 8: Proporcionan datos de temperatura de la superficie terrestre y permiten la identificación de islas de calor.
- Datos de estaciones meteorológicas: Solo se utilizó información sobre las condiciones atmosféricas, para validar los resultados del análisis de las imágenes satelitales.
- Mapas de uso de suelo: Muestran la distribución espacial de las diferentes categorías de uso de suelo en la zona de estudio.
- Software ArcGIS: Se utiliza para procesar y analizar los datos geográficos y generar mapas temáticos.

INFORMACIÓN SOBRE EL ESTADO ATMOSFÉRICO

Se analizó la presencia de la isla de calor en los municipios estudiados durante las cuatro estaciones del año. Los meses más característicos de cada estación en el hemisferio norte son: enero (invierno), marzo (primavera), junio (verano) y octubre (otoño).

Es importante destacar que la manifestación del fenómeno de la isla de calor en esta área depende de ciertas condiciones específicas. Para que este efecto se manifieste con su máxima intensidad es necesario que las condiciones atmosféricas incluyan un período de anticiclón con

ausencia de vientos y cielos despejados, lo que favorece un mayor aislamiento en la superficie (López y otros, 1993).

Para garantizar que se cumplan las condiciones de cielos despejados, es necesario elegir imágenes satelitales que presenten alrededor del 3% de nubosidad en toda la escena y un 0% de nubosidad en el área específica de estudio, lo que proporcionará resultados más precisos.

Así, pues, se consideraron las condiciones atmosféricas de anticiclón y los meses representativos del año para establecer la fecha del análisis. De esta manera, se definieron las fechas de estudio (enero 29, marzo 26, junio 30 y octubre 12).

DATOS Y PROCESOS PARA LA MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL

Datos satelitales: Se utilizaron imágenes del satélite Landsat 8 para las cuatro estaciones del año. Estas imágenes, que pertenecen al nivel 1T (con correcciones geométricas y radiométricas), se seleccionaron para asegurar condiciones atmosféricas anticiclónicas y cielos despejados, lo que garantiza un análisis preciso de la temperatura superficial. La banda 10 como banda térmica, y las bandas 4 y 5 se utilizan para este propósito.

Procedimiento de estimación: El procedimiento de estimación de la temperatura superficial se basa en la medición de la radiación electromagnética emitida por la superficie terrestre (Chuvieco, 2002). Dado que la radiación detectada por el sensor del satélite incluye tanto la radiación del suelo como la de la atmósfera, se requiere un preprocesamiento para corregir la influencia atmosférica. Se utiliza el método de valores mínimos del histograma propuesto por Chávez (1996) para realizar esta corrección.

Derivación de la temperatura superficial: La metodología sigue los siguientes pasos para derivar la temperatura superficial:

1. **Conversión a radiancia:** Los niveles digitales (ND) de las imágenes se convierten a radiancia espectral utilizando factores de reescalado específicos del satélite Landsat 8.
2. **Determinación de la temperatura de brillo:** Se utiliza la ecuación de Planck para calcular

la temperatura de brillo (temperatura radiante) a partir de la radiancia espectral.

3. **Corrección de emisividad:** Se aplica el método NEM (Gillespie, 1985) para corregir la emisividad de la superficie y obtener una estimación más precisa de la temperatura superficial. Este método utiliza un valor inicial de emisividad y lo ajusta iterativamente para cada píxel y cada banda térmica.
4. **Cálculo de la intensidad de la ICUS:** La intensidad de la isla de calor se calcula restando la temperatura de una estación rural de referencia a la temperatura de cada píxel en las imágenes.

Clasificación de la intensidad: Finalmente, los valores de intensidad de la isla de calor se clasifican según la diferencia de temperatura entre la zona urbana y la zona rural circundante:

- Débil: 1°C a 3°C
- Moderada: 3°C a 5°C
- Fuerte: 5°C a 7°C
- Muy fuerte: > 7°C

Los valores por debajo de cero se clasifican como islas frías.

CASOS DE ESTUDIOS DE ISLAS DE CALOR A ESCALAS INTERNACIONAL Y NACIONAL

Las islas de calor urbanas (ICU) representan un problema significativo y creciente mundial y nacional. Estas áreas urbanas experimentan temperaturas más altas que sus alrededores rurales por la urbanización, los cambios en el uso del suelo y otros factores antropogénicos. A continuación se presentan varios estudios de caso que ilustran la situación de las ICU en diferentes ciudades del mundo y en México.

Caso Quito, Ecuador. En el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), el estudio de Baño (2017) analizó la ICU utilizando imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI/TIRS entre 2006 y 2016. El objetivo fue entender cómo la urbanización y los cambios en el uso del suelo han afectado la

temperatura de la superficie terrestre (LST) y la calidad térmica del aire. Los resultados mostraron que las ICU son más intensas en áreas rurales con uso mixto de suelo en comparación con áreas urbanas. Se observaron aumentos de temperatura en las parroquias de Tababela, Calderón y Guayllabamba, mientras que en La Concepción e Iñaquito hubo una disminución. El estudio concluye que la relación entre la temperatura de la superficie y el uso del suelo es crucial para caracterizar las ICU y destaca la importancia de la planificación urbana y de estrategias de mitigación.

Caso Bangkok, Tailandia. Keeratikasikorn y otros (2018) analizaron la isla de calor superficial urbana (SUHI) en Bangkok utilizando imágenes Landsat 8 entre 2014 y 2016. El estudio abarcó diez categorías de uso del suelo, según el plan de zonificación de Bangkok. Se encontraron intensidades medias de SUHI más altas en el centro de la ciudad, y en zonas con mayor vegetación, como áreas agrícolas y de conservación rural, las intensidades fueron más bajas. El estudio identificó también islas de frescor urbano superficial (SUCI) en áreas verdes, y puntos calientes (HSS) en superficies impermeables. Los resultados son útiles para desarrollar estrategias de mitigación del SUHI y promover un desarrollo urbano más sostenible.

Caso Medellín, Colombia. Soto (2019) estudió la isla de calor superficial (ICS) en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), utilizando para ello imágenes Landsat adquiridas entre 1986 y 2016. Los resultados mostraron que la temperatura superficial promedio en el área urbana fue de 25.85°C; esto es, 4.81°C más cálida que en las áreas rurales circundantes. La densidad de vegetación se mantuvo relativamente estable, aunque algunas áreas experimentaron una pérdida significativa debida al crecimiento urbano. Se concluye que el fenómeno de la ICU es evidente en el valle de Aburrá, y se concentra en el centro de la ciudad. Se recomienda que las acciones de mitigación se centren en esta área y en los barrios con mayor pérdida de vegetación.

Caso Tampico, Tamaulipas, México. Fuentes (2014) investigó las ICU en Tampico, México, utilizando datos climáticos históricos y mediciones de

temperatura. Los resultados revelaron la existencia de múltiples islas de calor intensificadas durante el verano. Estas islas de calor tienen un impacto negativo en la calidad del hábitat, causan estrés térmico y aumentan el riesgo de enfermedades. El estudio sugiere medidas de mitigación como aumentar la vegetación y los cuerpos de agua, evitar grandes extensiones de asfalto y promover un desarrollo urbano más compacto y vertical.

Caso zonas desérticas en México. Marincic (2022) exploró las ICU en ciudades desérticas de México, y detalló las causas y consecuencias del fenómeno. Las ciudades desérticas presentan características distintivas en el comportamiento de la ICU. Durante el día pueden experimentar un “efecto oasis”, y ser más frías por la sombra y la evapotranspiración de la vegetación. Sin embargo, durante la noche liberan el calor almacenado y se convierten en islas de calor. El estudio destaca la importancia de la vegetación en la mitigación de la ICU, y sugiere estrategias como el uso de materiales reflectantes y la gestión eficiente del agua.

Caso Ciudad de México, México. Barrera Alarcón *et al.* (2022) analizaron la ICUS en la Ciudad de México, y utilizaron imágenes satelitales para identificar zonas vulnerables. Las temperaturas nocturnas más altas se encontraron en áreas cercanas al centro de la ciudad, correlacionadas con mayor densidad de viviendas y unidades económicas. Las áreas con vegetación registraron temperaturas nocturnas más bajas. El estudio destaca la importancia de considerar la densidad de población, el uso del suelo y la cobertura vegetal en la planificación urbana para mitigar los efectos de la ICUS y proteger las poblaciones vulnerables.

Estos estudios de caso proporcionan una visión integral de las ICU en diferentes contextos urbanos y geográficos. La relación entre la urbanización, el uso del suelo y las temperaturas de superficie es crucial para entender y mitigar el fenómeno de las ICU. Las estrategias de mitigación incluyen aumentar la vegetación, mejorar la gestión del agua y promover un desarrollo urbano sostenible. Implementar estas estrategias es esencial para mejorar la calidad de vida de los habitantes y contribuir a la lucha contra el calentamiento global.

RESULTADOS

En el interior de las zonas urbanizadas las condiciones naturales varían considerablemente en comparación con las áreas circundantes, lo que da lugar a un microclima único: el clima de la capa de aire superficial de distintas partes de la zona urbana. La disminución de áreas verdes en las ciudades, sustituidas por asfalto y edificaciones, aumenta la temperatura y crea un microclima urbano más cálido.

En la actualidad no existe un acuerdo unánime sobre cuándo se producen las islas de calor y cuándo alcanzan su pico de intensidad. Las islas de calor se forman y evolucionan en función del tiempo y el espacio, y dependen de aspectos específicos del entorno físico y social, como la ubicación geográfica, las características urbanas y las condiciones climáticas. Además, las diferentes estaciones del año influyen significativamente en los niveles de intensidad registrados, ya que elementos como la radiación, la cobertura del suelo y las condiciones atmosféricas generan variaciones notables.

ISLAS DE CALOR URBANAS SUPERFICIALES EN PRIMAVERA (26 DE MARZO)

Las islas de calor urbanas superficiales durante la primavera, así como en otras estaciones del año, son el producto de factores vinculados con la urbanización y las particularidades de las ciudades. Entre estos factores se encuentran la densidad de las edificaciones, el uso de materiales que acumulan calor, la escasez de vegetación y

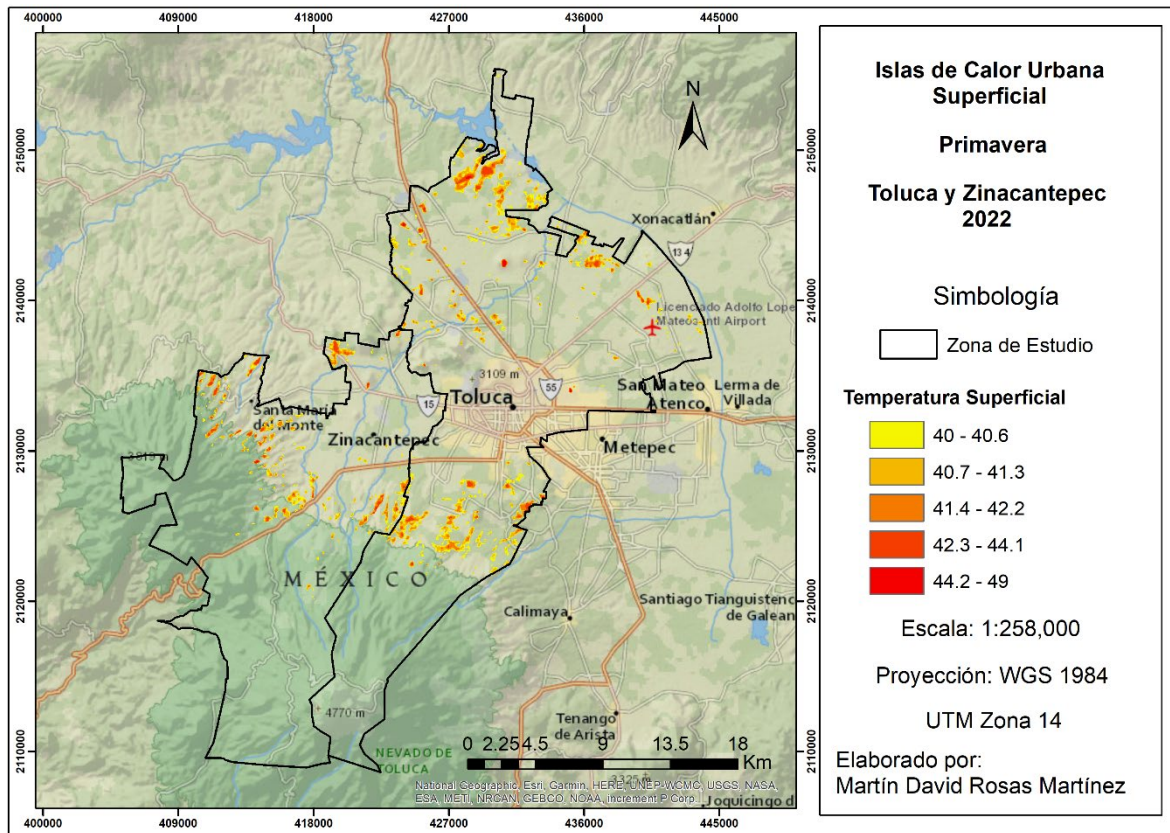
las emisiones de calor generadas por actividades humanas, entre otros elementos.

Durante la primavera el fenómeno de la isla de calor urbana puede ser especialmente perceptible, debido al aumento de las temperaturas y la intensidad de la radiación solar, así como al uso intensivo de sistemas de calefacción o aire acondicionado que se mantienen desde el invierno o se anticipan al verano, respectivamente. Además, la primavera es un periodo de cambio en el cual la vegetación urbana puede estar aún en proceso de recuperación del invierno, lo que disminuye temporalmente su habilidad para atenuar el calor (Sarricolea y otros, 2008).

Estas islas representan un fenómeno climático que se distingue por presentar temperaturas superiores en zonas urbanas, en contraste con las áreas rurales circundantes. Este efecto se agudiza en la primavera, una estación de cambio que ve un incremento progresivo de las temperaturas. La primavera es especialmente significativa para el análisis de las ICUS, debido a diversos factores que influyen en su creación y sus efectos durante este periodo.

En los municipios de Zinacantepec y Toluca las islas de calor se manifiestan con variados tamaños e intensidades, y su comportamiento cambia en función de la estación del año y del tipo de temperatura que se analice. Según se muestra en la figura 1, la intensidad de la isla de calor en primavera se consideró moderada-alta, por la extensión y la ubicación de la isla. Aunque existen intensidades más altas, estas se distribuyen de manera dispersa, formando micro islas.

FIGURA 1
Isla de calor superficial en primavera (26 de marzo)



Fuente: Elaboración propia.

Este fenómeno se intensifica en primavera debido a varios factores:

1. Aumento de temperaturas y radiación solar: La primavera trae un aumento gradual de las temperaturas y la radiación solar, lo que contribuye a la formación de ICU.
2. Uso intensivo de sistemas de climatización: El uso de calefacción en invierno y aire acondicionado al acercarse el verano genera calor adicional en las áreas urbanas.
3. Recuperación de la vegetación urbana: En primavera, la vegetación urbana aún se está recuperando del invierno, lo que reduce su capacidad para mitigar el calor a través de la sombra y la evapotranspiración.

El estudio revela que la intensidad de las ICU en primavera es moderada-alta en ambos municipios, aunque existen microislas de mayor intensidad dispersas. Esta intensidad moderada se atribuye a la extensión y la ubicación de las islas de calor.

Factores que condicionan la aparición de ICU en primavera:

- Bajos niveles de humedad del suelo: La primavera es una época seca en la región, lo que reduce la humedad del suelo y disminuye su capacidad para regular la temperatura.
- Escasa vegetación: La falta de vegetación limita la sombra y la evapotranspiración, procesos naturales que ayudan a enfriar el ambiente.

- **Materiales de construcción:** Los materiales urbanos, como el asfalto y el cemento, absorben y retienen el calor, lo cual eleva las temperaturas en las ciudades.

Distribución espacial de las ICU:

Las ICU se distribuyen de manera heterogénea en ambos municipios, con diferentes intensidades y ubicaciones. Se observan en áreas industriales, como el parque Industrial San Cayetano, y en empresas como Genomma Lab, donde las temperaturas oscilan entre 41°C y 43°C. También se encuentran en zonas con baja reflectividad (albedo) como Puerta México, con temperaturas de 42°C a 45°C.

En áreas residenciales, como el fraccionamiento Paseos San Martín, la falta de vegetación y los materiales de construcción contribuyen a la formación de ICU. En el sur de Toluca, localidades como El Refugio, Santiago Tlacotepec y San Felipe Tlalmimilolpan experimentan ICU con temperaturas de 40°C a 42°C, debidas a cambios en el uso del suelo y al desarrollo urbano.

En Zinacantepec, las ICU de mayor intensidad se encuentran en Santa María del Monte, El Cóporo y San Juan de las Huertas, con temperaturas de 42°C a 49°C. Estas áreas presentan una combinación de estructuras urbanas y cultivos, lo que sugiere que la actividad agrícola también puede influir en la formación de ICU.

Cabe mencionar que las ICU no se limitan a las zonas urbanas, sino también pueden estar

presentes en áreas de cultivo. Factores como la transformación del uso del suelo, la falta de vegetación y las propiedades térmicas de los materiales agrícolas contribuyen a este fenómeno. La deforestación, la exposición del suelo, el uso de plásticos en invernaderos y la reducción de la evapotranspiración son algunos de los factores que aumentan las temperaturas en áreas de cultivo (Olalla y Calera, 2005).

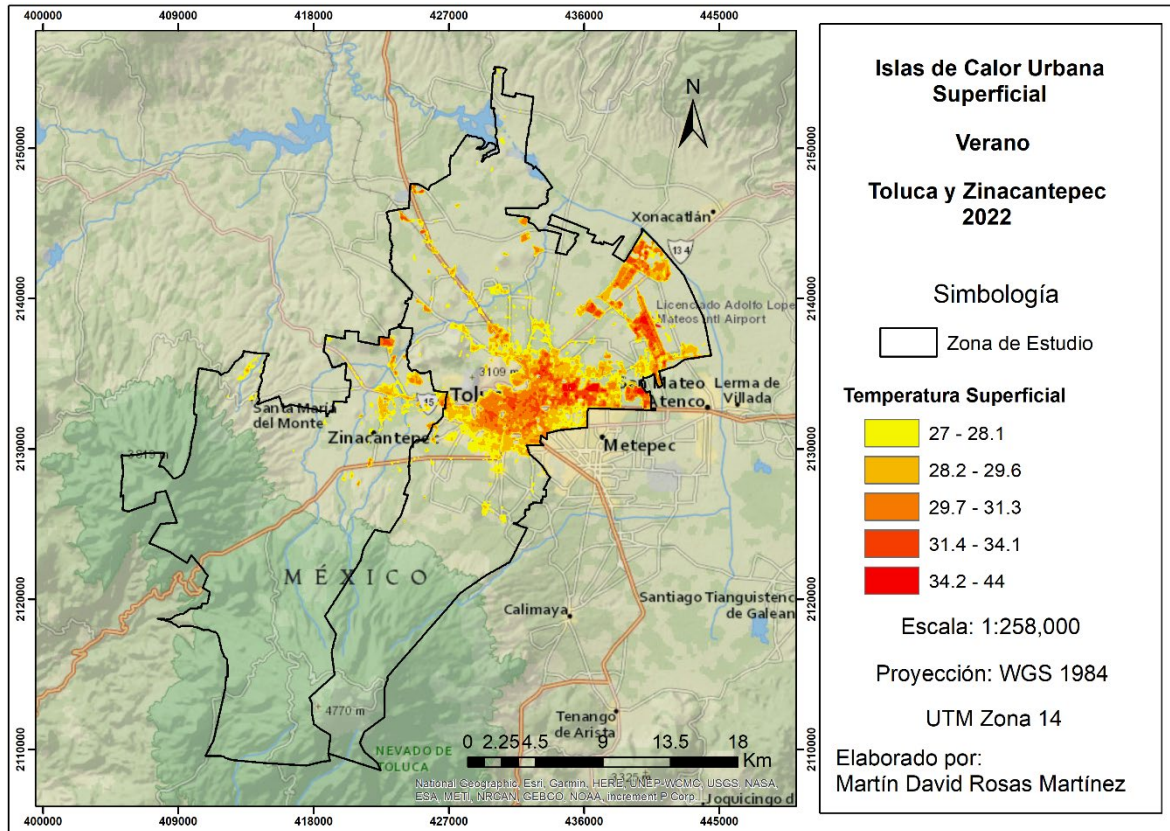
El análisis de las ICU en primavera en Zinacantepec y Toluca revela la compleja interacción de factores climáticos, urbanos y agrícolas que contribuyen a este fenómeno. La comprensión de estas dinámicas es crucial para desarrollar estrategias de mitigación y adaptación que promuevan entornos urbanos más sostenibles y resilientes al cambio climático.

ISLAS DE CALOR URBANAS SUPERFICIALES EN VERANO (30 DE JUNIO)

Las islas de calor que se forman en el verano llegan a una intensidad elevada (figura 2). El patrón en esta estación se comprende de acuerdo con lo informado por Jáuregui (1992), quien indica que las islas de calor en ciudades tropicales se manifiestan con mayor fuerza en la temporada húmeda que en la seca. En particular, las islas diurnas alcanzan su desarrollo máximo en el hemisferio norte en julio (como sucede con los municipios estudiados), impulsadas por la altura solar, que favorece el enfriamiento por evaporación de áreas rurales con vegetación.

FIGURA 2

Isla de calor superficial en verano (30 de junio)



Fuente: Elaboración propia.

En verano, las ICUS alcanzan su máxima intensidad, clasificada como “muy fuerte”, aunque también se observan micro islas de intensidad débil a fuerte, como en la zona del aeropuerto de Toluca. Estas islas de calor se atribuyen a varios factores:

- Alta radiación solar: La mayor radiación solar en verano aumenta la temperatura de las superficies urbanas.
- Absorción lenta de calor por materiales urbanos: Los materiales de construcción en las ciudades absorben y liberan calor lentamente.
- Sombra de edificios de mediana altura: La sombra proyectada por estos edificios reduce la radiación solar directa.
- Escasa vegetación: La falta de vegetación en áreas urbanas limita la sombra y la evapotranspiración.

El patrón de intensidad de las ICUS en verano se explica por la época de lluvias en la región. Durante el día, gran parte del calor se utiliza en la evaporación del suelo en áreas rurales, mientras que las zonas urbanas se secan más rápido, lo que permite que la radiación caliente su superficie.

Las ICUS se concentran principalmente en el centro de Toluca y Zinacantepec, coincidiendo con las áreas de mayor densidad poblacional y de edificación. Zonas como el centro histórico de Toluca, la zona industrial y áreas residenciales densamente pobladas muestran las temperaturas más altas, que superan los 34.2°C. Se observa un gradiente de temperatura decreciente desde el centro urbano hacia las zonas periféricas, donde las áreas rurales y menos desarrolladas presentan temperaturas más bajas, entre 27°C y 29.6°C.

Factores que contribuyen a las ICUS en áreas específicas:

- Parque industrial Toluca 2000, San Blas Otzacatipan y aeropuerto internacional de Toluca: Estos sitios presentan altas temperaturas superficiales (31°C a 44°C), por la modificación del paisaje natural debida a la urbanización, la actividad humana y el uso de materiales de construcción que absorben y retienen el calor.
- Galerías Toluca, Robert Bosch Toluca y General Motors Toluca: En estas zonas, las temperaturas varían entre 38°C y 44°C, por la concentración de edificios, el uso de asfalto y concreto y la falta de áreas verdes.
- Zinacantepec (noreste): Localidades como Rancho San Jorge y Ojuelos presentan temperaturas de 27°C a 30°C, debidas a cambios en el uso del suelo y a la expansión urbana.
- Zinacantepec (oeste): Una zona boscosa, en esta parte se registran temperaturas de 29°C a 40°C, lo que podría atribuirse a la alteración de ecosistemas y cambios en la composición de la vegetación.
- Zinacantepec (suroeste y sur): La Peñuela, parque ecoturístico La Ciénega, Raíces y Par-

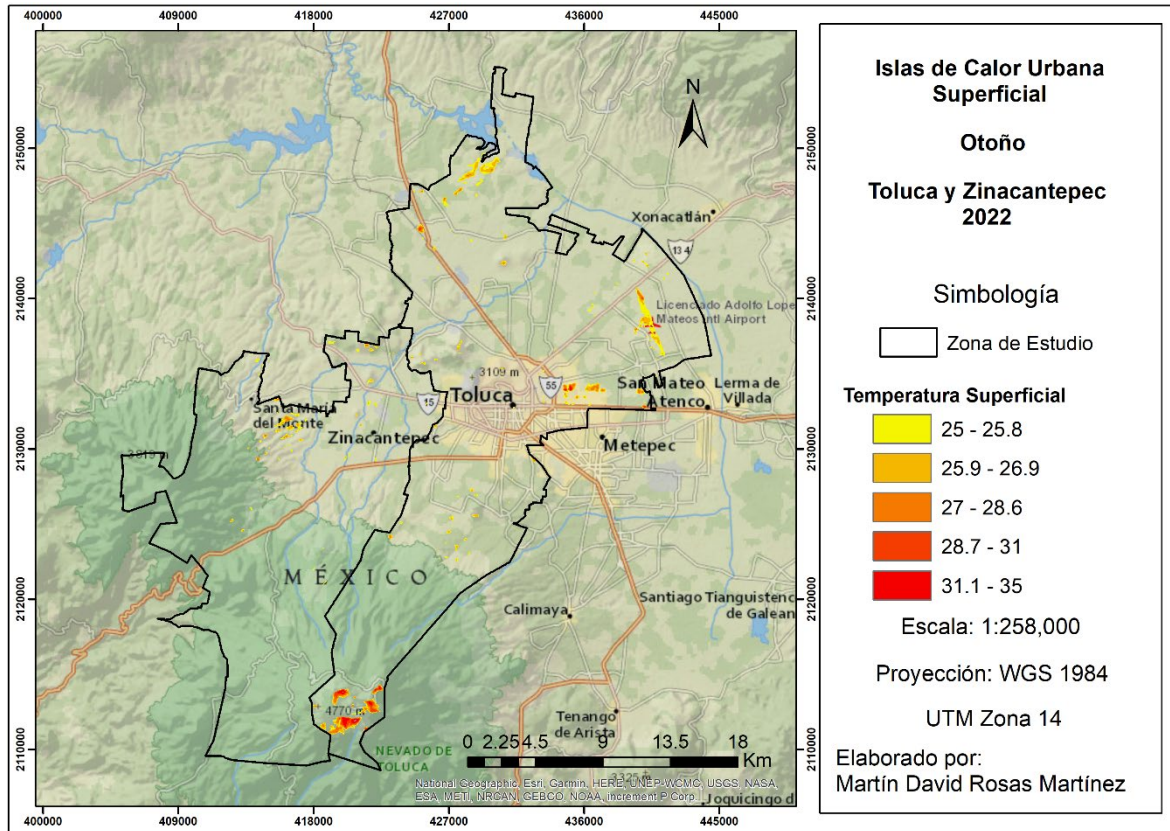
que de los Venados presentan temperaturas de 27°C a 30°C, por cambios en el uso del suelo, como la urbanización, la deforestación y la agricultura.

En resumen, el análisis de las ICUS en verano en Toluca y Zinacantepec revela cómo la urbanización, la actividad humana y los cambios en el uso del suelo contribuyen a este fenómeno. La comprensión de estos factores es esencial para implementar estrategias de mitigación y planificación urbana que promuevan un entorno más sostenible y reduzcan los impactos negativos de las islas de calor.

ISLAS DE CALOR URBANAS SUPERFICIALES EN OTOÑO (12 DE OCTUBRE)

El análisis de las islas de calor urbanas superficiales (ICUS) durante el otoño de 2022 en Toluca y Zinacantepec revela una intensidad débil en comparación con otras estaciones (figura 3). En Zinacantepec, las ICUS de baja intensidad se concentraron principalmente en el sureste, con temperaturas de 25°C a 27°C. Estas islas se asociaron con cambios en el uso del suelo, como la urbanización y la expansión de áreas agrícolas.

FIGURA 3
Isla de calor superficial en otoño (12 de octubre)



Fuente: Elaboración propia.

En el noroeste de Zinacantepec, se observaron anomalías térmicas en zonas agrícolas y áreas urbanas en desarrollo, como el barrio de La Rosa, El Curtidor, El Cóporo y la Universidad Tecnológica de Zinacantepec. Estas anomalías, con temperaturas de 25°C a 35°C, se atribuyeron al calentamiento de tierras cultivables y a los cambios de uso de suelo.

En Toluca, las ICUS de mayor intensidad se ubicaron en el noroeste y noreste, con temperaturas de 23°C a 25°C. Estas áreas se caracterizaron por escasa vegetación, lo que aumenta la exposición a la radiación solar, reduce la evapotranspiración y contribuye a la formación de islas de calor. El centro de Toluca, en particular, es susceptible al exceso de calor, debido a la densidad de edificios y la alta transferencia de calor.

En el sur de Toluca se encontraron ICUS en el parque ecológico ejidal de Cacalomacán y Mirador Don VikoRanger, con temperaturas de 23°C a

24°C. Estas áreas, a pesar de tener más vegetación, también experimentaron el efecto de isla de calor, aunque en menor medida.

Factores que influyen en la formación de ICUS en otoño:

- Reducción de la radiación solar: La disminución de la radiación solar en otoño conduce a temperaturas más bajas en general, lo que puede influir en la intensidad de las ICUS.
- Cambios en la vegetación: La caída de hojas y la disminución de la evapotranspiración en otoño pueden afectar la capacidad de la vegetación para regular la temperatura.
- Variaciones estacionales: El enfriamiento natural del clima en otoño reduce la diferencia de temperatura entre áreas urbanas y rurales, lo cual disminuye la intensidad de las ICUS.
- Cambios en la dinámica atmosférica: Los cambios en los patrones de viento y la cobertura

de nubes pueden influir en la distribución de la temperatura y la formación de ICUS.

- Influencia de masas de aire: Las masas de aire frío provenientes de latitudes más altas pueden disminuir las temperaturas en áreas urbanas, lo que afecta la intensidad de las ICUS.
- Efectos de la urbanización: La presencia de áreas verdes y cuerpos de agua en áreas urbanas puede mitigar el efecto de isla de calor, lo que podría explicar las temperaturas más bajas en algunas zonas de Toluca y Zinacantepec.

El análisis de las ICUS en otoño de 2022 revela una intensidad débil en comparación con otras estaciones. Los factores que contribuyen a esta baja intensidad incluyen la reducción de la radiación solar, los cambios en la vegetación, las variaciones estacionales, los cambios en la dinámica atmosférica, la influencia de masas de aire frío y los efectos de la urbanización. Es importante destacar que, a pesar de la baja intensidad general, se observaron variaciones significativas en la distribución espacial de las ICUS, lo que sugiere que factores locales, como la densidad de cons-

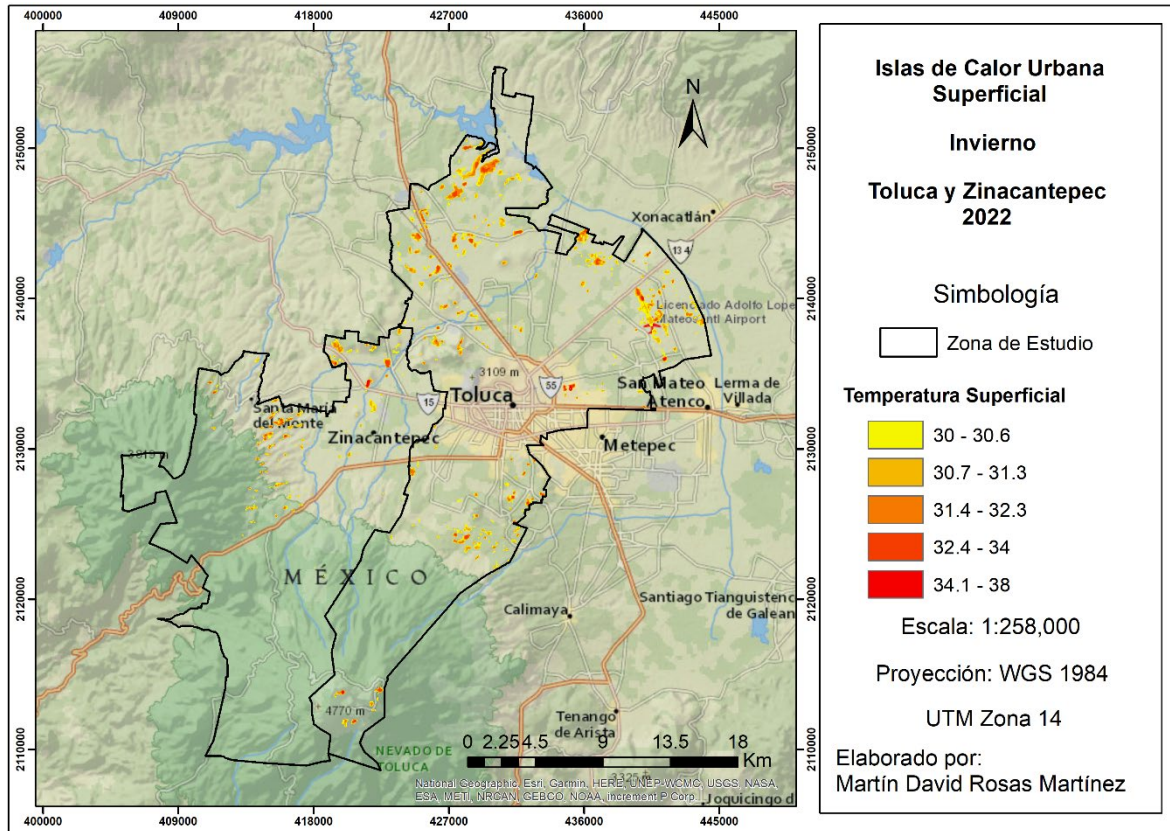
trucción, la vegetación y la presencia de cuerpos de agua, son importantes en la formación y la intensidad de las islas de calor.

Al comprender los factores que contribuyen a la formación de ICUS en diferentes estaciones, se pueden implementar medidas para reducir los impactos negativos del calor urbano en la salud, el bienestar y el medio ambiente (Zhang y Wang, 2008).

ISLAS DE CALOR URBANAS SUPERFICIALES EN INVIERNO (29 DE ENERO)

El análisis de las islas de calor urbanas superficiales durante el invierno de 2022 en Toluca y Zinacantepec revela un comportamiento de intensidad fuerte (figura 4), en contraste con la intensidad débil observada en otoño. En Toluca, las ICUS de mayor intensidad se concentraron en áreas clave, como aeropuerto internacional, zonas industriales (parque industrial San Cayetano, planta Tía Rosa), carreteras principales y conjuntos urbanos, con temperaturas superficiales que oscilaron entre los 30°C y los 38°C.

FIGURA 4
Islas de calor urbana superficial en invierno (29 de enero)



Fuente: Elaboración propia.

Factores que contribuyen a la intensidad de las ICUS en invierno:

1. Disipación de energía térmica: La liberación de calor generado por la calefacción de edificios y los procesos industriales en el espacio urbano.
2. Densidad de habitantes: La actividad humana consume energía que se libera en forma de calor, e intensifica las ICUS en áreas densamente pobladas.
3. Propiedades térmicas de superficies: Superficies oscuras, como el asfalto y el concreto, almacenan energía, debido a su bajo albedo.

En Zinacantepec, la diferencia térmica entre la zona urbana y la periferia alcanzó los 8°C, con temperaturas que variaron entre 28°C y 36°C. Se observó la formación de una ICUS al noreste del municipio, en áreas de nuevos conjuntos urba-

nos, como Sándara Residencial, conjunto urbano Privadas de la Hacienda y El Porvenir. Estos conjuntos, contruidos con materiales como asfalto y concreto, retienen el calor y lo liberan lentamente durante la noche, lo cual contribuye a la formación de ICUS.

Factores adicionales que influyen en la formación de ICUS en invierno:

1. Configuración urbana: La densidad de edificios y la geometría de las ciudades pueden atrapar el calor y reducir la circulación del aire, manteniendo temperaturas más altas.
2. Efectos de la radiación solar: Aunque menos intensa en invierno, la radiación solar aún es absorbida y reemitida como calor por las superficies urbanas.
3. Topografía y condiciones climáticas: La ubicación geográfica y las condiciones climáticas específicas de cada ciudad también pueden influir en la intensidad de las ICUS.

El análisis de las ICUS en invierno de 2022 revela una intensidad fuerte en comparación con el otoño. Los factores que contribuyen a esta intensidad incluyen la disipación de energía térmica, la densidad de habitantes, las propiedades térmicas de las superficies, la configuración urbana, los efectos de la radiación solar y la topografía. Zhao y otros (2014) señalan que es importante destacar que la intensidad de las ICUS puede variar significativamente entre estaciones y dentro de una misma ciudad, lo que subraya la necesidad de considerar factores locales y estacionales en la planificación urbana y en el desarrollo de estrategias de mitigación.

CONCLUSIONES

La fluctuación de la temperatura superficial a través de las diferentes estaciones del año y durante el ciclo diario es un fenómeno intrincado que está determinado por varios factores. Entre estos, sobresalen la posición del sol, los procesos de transferencia de calor en las superficies y la influencia del ambiente atmosférico.

Conclusiones del estudio:

- *Primavera:* Las ICUS en primavera son notables, debido al aumento de las temperaturas y la intensidad de la radiación solar. El efecto es particularmente evidente en áreas con baja humedad del suelo, escasa vegetación y materiales de construcción que retienen calor.
- *Verano:* Las ICUS alcanzan su máxima intensidad en verano, especialmente en julio en el hemisferio norte. Esto se debe a la combinación de alta radiación solar, altura solar y rápida evaporación en áreas urbanas, en comparación con las rurales.
- *Otoño:* Las temperaturas de las ICUS disminuyen en otoño, debido a la reducción de la radiación solar, los cambios en la vegetación, las variaciones estacionales y la influencia de masas de aire frío.
- *Invierno:* Las ICUS en invierno son causadas por la retención de calor en materiales de construcción, la falta de vegetación, la generación de calor por actividades humanas y la

configuración urbana que limita la ventilación. La intensidad de las ICUS puede variar según la estación y las condiciones climáticas, pero pueden ser significativas incluso en invierno.

Las islas de calor superficiales (ICU) son un fenómeno climático que se caracteriza por un aumento de las temperaturas en áreas urbanas en comparación con las zonas rurales circundantes. Este efecto se debe a la combinación de varios factores, como la densidad de construcción, el uso de materiales que retienen calor, la falta de vegetación y las emisiones de calor antropogénicas.

OBSERVACIONES ADICIONALES:

- Las ICUS no se limitan a zonas urbanas, sino pueden ocurrir también en áreas rurales y de cultivo, debido a cambios en el uso del suelo, falta de vegetación y propiedades térmicas de los materiales utilizados en la agricultura.
- El impacto de las ICUS puede extenderse más allá de las ciudades y afectar áreas agrícolas y boscosas cercanas.
- La comprensión de los factores que contribuyen a la formación de ICUS es crucial para desarrollar estrategias de mitigación y adaptación, como el aumento de áreas verdes, el uso de materiales de construcción más reflectantes y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles.

Los hallazgos de este estudio tienen importantes implicaciones para la planificación urbana y la gestión ambiental. La identificación y la caracterización de las ICUS pueden informar estrategias de mitigación, como la incorporación de más áreas verdes y el uso de materiales de construcción con mayor reflectividad para reducir la absorción de calor. Teóricamente, este estudio contribuye a la comprensión de las dinámicas de las ICUS en diferentes contextos urbanos y climáticos, y proporciona una base para futuros estudios comparativos.

Para futuras investigaciones, se recomienda:

- Ampliar el análisis a otras ciudades con diferentes características climáticas y de desarrollo urbano para evaluar la generalizabilidad de los hallazgos.

- Investigar el impacto de diversas estrategias de mitigación en la reducción de las ICUS y su eficacia en diferentes contextos urbanos.
- Explorar la relación entre las ICUS y otros factores ambientales, como la calidad del aire y la salud pública, para desarrollar enfoques integrados de gestión urbana sostenible.

REFERENCIAS

- Baño Saltos, D. P. (2017). *Estudio de la isla de calor urbano del Distrito Metropolitano de Quito mediante técnicas de percepción remota*. Repositorio Digital Universidad Internacional SEK. Disponible en: <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2144>
- Barrera Alarcón, I. G., Caudillo Cos, C. A., Medina Fernández, S. L., Ávila Jiménez, F. G. & Montejano Escamilla, J. A. (2022). The Surface Urban Heat Island and its Manifestation in the Urban Structure of Mexico City. *Revista de Ciencias Tecnológicas*, 5(3), e227. Disponible en: <https://doi.org/10.37636/recit.v5n3e227>
- Chavez, P. S. (1996). Image-based Atmospheric Corrections. Revisited and Improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(9), 1025-1036.
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección ambiental, la observación de la tierra desde el espacio*. Ariel. Barcelona.
- Córdova Sáez, K. (2011). Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana: Análisis estacional comparativo: Caracas, octubre-2009, marzo-2010. *Terra*, 27(42), 95-122. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1012-70892011000200005
- Fuentes Pérez, C. A. (2015). Islas de calor urbano en Tampico, México: Impacto del microclima a la calidad del hábitat. *Nova Scientia*, 7(13), 495-515. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052015000100024&lng=es&tlng=es
- Jáuregui, E. (1992). La isla de calor urbano de la ciudad de México a finales del siglo XIX. *Boletín Investigaciones Geográficas, UNAM*, 26, 31-40.
- Keeratikasikorn, C. & Bonafoni, S. (2018). Urban Heat Island Analysis over the Land Use Zoning Plan of Bangkok by Means of Landsat 8 Imagery. *Remote Sensing*, 10, 440. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/rs10030440>
- López, A., Fernández, F., Arroyo, F., Martín, J. & Cuadrat, J. M. (1993). *El clima de las ciudades españolas*. Cátedra.
- Marincic Lovriha, I. (2022). Una revisión sobre la isla de calor urbana y sus particularidades en zonas desérticas de México. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, (12), 9-25. Disponible en: <https://doi.org/10.32870/rvcs.voi12.196>
- Olalla, F. & Calera, A. (2005). Uso de la teledetección en el seguimiento de los cultivos de regadío. En *Agua y agronomía*. Mundi Prensa Libros.
- Sarricolea Espinoza, P. & Romero Aravena, H. (2010). Análisis de los factores condicionantes sobre las temperaturas de emisión superficial en el área metropolitana de Valparaíso. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/117841>
- Sarricolea, P., Aliste, E., Castro, P. & Escobedo, C. (2008). Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos. *Revista de Climatología*, 8, 71-84.
- Soto-Estrada, E. (2019). Estimación de la isla de calor urbana en Medellín, Colombia. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(2), 421-434. Disponible en: <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.02.13>
- Struchkova, G. P., Krupnova, T. G., Rakova, O. V., Tikhonova, S. A., Shein, N. S. & Kapitonova, T. A. (2023). Identification of Thermal Anomalies in Yakutsk using Satellite Data. *Arctic and Subarctic Natural Resources*, 28(3), 415-424.
- Voogt, J. A. & Oke, T. R. (2003). Thermal Remote Sensing of Urban Climates. *Remote Sensing of Environment*, 86, 370-384. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
- Zhang, J. & Wang, Y. (2008). Study of the Relationships between the Spatial Extent of Surface Urban Heat Islands and Urban Characteristic Factors based on Landsat ETM+ data. *Sensors*, 8(11), 7453-7468. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/s8117453>
- Zhao, L., Lee, X., Smith, R. B. & Oleson, K. (2014). Strong Contributions of Local Background Climate to Urban Heat Islands. *Nature*, 511(7508), 216-219. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/nature13462>

Índice de necesidad de espacios verdes públicos en el municipio de Guadalajara 2018-2021¹

Public green space need index in the municipality of Guadalajara 2018-2021

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i17.294>

CARLOS DELHDARI CORREA GORDILLO*

Universidad de Guadalajara, México. ORCID: 0009-0007-8555-4633

Correo electrónico: delhdari@gmail.com

*Autor de correspondencia

LUIS FERNANDO ÁLVAREZ VILLALOBOS

Universidad de Guadalajara, México. ORCID: 0000-0003-4425-171X

Correo electrónico: luis.alvarez@cuaad.udg.mx

Recepción: 14 de mayo de 2024 Aceptación: 7 de agosto de 2024

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo desarrollar una herramienta para diagnosticar la necesidad de espacios verdes públicos en el municipio de Guadalajara y analizar la congruencia socioespacial que tuvieron las diversas acciones municipales en materia de creación y mejoramiento de dichos espacios. Para ello se implementó una metodología cuantitativa para desarrollar un índice con apoyo de sistemas de información geográfica, e incorporando las variables de densidad de población, densidad de espacios verdes públicos y nivel socioeconómico; posteriormente se realizó un inventario geolocalizado de las acciones de los programas Parques de Bolsillo y 100 Parques. Se incluye además un apartado cualitativo basado en entrevistas a funcionarios públicos, con el fin de conocer los procesos de gestión y toma de decisiones respecto de la localización de las acciones de dichos programas. Los resultados muestran la desigualdad socioespacial en la distribución de los espacios verdes públicos, el grado de con-

gruencia que tuvieron las acciones de dichos programas, y la lógica en la toma de decisiones al respecto. Se observó el potencial que tienen los parques de bolsillo para mejorar el acceso de estos espacios en colonias marginadas. Este estudio solo involucra dos programas, y sus alcances son de nivel municipal, durante la administración 2018-2021; no obstante su valor radica en poner sobre la mesa la relevancia de procurar criterios de justicia espacial en la toma de decisiones en materia de espacios verdes públicos, los cuales son esenciales para el desarrollo sostenible de las ciudades.

Palabras clave: desigualdad socio espacial, espacios verdes públicos, índice, políticas públicas locales

ABSTRACT

The objective of this paper is to develop a tool to diagnose the need for public green spaces in the municipality of Guadalajara, and to analyze

1. El presente trabajo es resultado de la tesis de maestría denominada "Análisis del Programa Parques de Bolsillo en Guadalajara 2018-2021, desde el enfoque de Justicia Espacial", para sustentar el grado de Maestro en Políticas Públicas por la Universidad de Guadalajara, programa cursado entre 2019 y 2021.



the socio-spatial congruence of the different municipal actions regarding the creation and improvement of such spaces. For this purpose, a quantitative methodology was implemented to develop an index with the support of Geographic Information Systems, incorporating the variables of population density, density of public green spaces and socioeconomic level; subsequently, a geolocalized inventory of the actions of the Pocket Parks and 100 Parks programs was carried out. A qualitative section based on interviews with public officials is also included in order to learn about the management and decision-making processes regarding the location of the actions of these programs. The results show the socio-spatial inequality in the distribution of public green spaces, the degree of congruence that the actions of these programs had, and the logic of decision making in this regard, noting the potential of pocket parks to improve access to these spaces in marginalized neighborhoods. The scope of this study is at the municipal level during the 2018-2021 administration, and only involves two programs; however, its value lies in putting on the table the relevance of seeking spatial justice criteria in decision-making regarding public green spaces, which are essential for the sustainable development of our cities.

Keywords: socio-spatial inequality, green public spaces, index, local public policies

INTRODUCCIÓN

Los espacios verdes públicos (EVP) son bienes urbanos indispensables para la sostenibilidad y la calidad de vida en las ciudades gracias a sus múltiples beneficios de índole social y ambiental. Sin embargo, su distribución territorial tiende a ser desigual, ya que las colonias periféricas, densamente pobladas y marginadas, suelen carecer de estos bienes públicos. Ante esta situación, si las políticas municipales solo se enfocan en el mantenimiento de los EVP existentes, difícilmente se va a beneficiar a las colonias más necesitadas, lo que perpetúa la brecha de desigualdad socioespacial. A menos que dispongan de herramientas que les permitan conocer con precisión dicha

problemática, así como estrategias para generar nuevos EVP en zonas ya urbanizadas, marginadas y densamente pobladas.

Este trabajo presenta el Índice de Necesidad de Espacios Verdes Públicos (INEVP), que cobra una especial importancia en la producción y la evolución de nuestras ciudades, especialmente aquellas cuyos procesos de urbanización son muy antiguos o presentan procesos de urbanización populares (*Slums* en la definición de ONU Hábitat), zonas caracterizadas por bajos ingresos económicos y carencia de espacios públicos. Un índice de esta naturaleza cobra especial importancia como herramienta de contraste entre políticas de gestión del espacio público, y como métrica de comparación para observar la evolución de la distribución territorial del espacio público en las ciudades, pues atiende a la relación entre la densidad poblacional, la densidad de espacios públicos y el nivel socioeconómico.

De manera específica en este trabajo, el índice se utiliza para contrastar dos programas públicos implementados por el municipio de Guadalajara durante la administración 2018 – 2021: el programa Parques Bolsillo y el programa 100 Parques. Sin embargo, su potencial es mayor si consideramos el dinamismo urbano a mediano y largo plazos, pues el índice puede ser de utilidad para observar la evolución y la eficacia de políticas del espacio público en atención a la desigualdad socioespacial. La pregunta que guía la elaboración de este trabajo indaga sobre la incidencia que han tenido las acciones de generación y mejoramiento de EVP realizadas por el gobierno municipal de Guadalajara entre 2018 y 2021 en la desigualdad socioespacial en el acceso a EVP.

Para tal fin, en un primer momento se desarrollan aspectos contextuales y se introducen los alcances y posibilidades del principio de acceso igualitario al espacio público como eje orientador de política pública; se continúa con el planteamiento del problema público relativo a la desigualdad socioespacial en la distribución de EVP en ciudades mexicanas (particularmente en el contexto estudiado), para después abordar la dimensión normativa que enmarca la gestión de espacios públicos en México, concretamente su distribución espacial.

Después, se muestran las generalidades del diseño del índice y su aplicación en la distribución espacial de EVP en el municipio de Guadalajara, y se contrasta con las acciones de creación y mejoramiento de EVP a través de los citados programas. A continuación, y de forma complementaria, se rescatan las principales ideas de las entrevistas a actores clave representativos del proceso de gestión de EVP. Finalmente se describen las conclusiones, y se aportan reflexiones y recomendaciones en materia de políticas públicas de espacio público.

Con posterioridad a la presentación de la tesis que originó este trabajo, se publicó en el *Diario Oficial de la Federación* la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDATU-2021, Espacios públicos en los asentamientos humanos (22/02/2022). Si bien ambos han sido sincrónicos, este estudio no tiene como origen las discusiones que ya en ese momento se estaban dando sobre la Norma, pero el resultado de este trabajo es coadyuvante al cumplimiento de la norma.

PROBLEMÁTICA Y ESTADO DEL ARTE

En primera instancia se describe de forma general la relevancia de los EVP para las ciudades, y en específico se abordan los estudios sobre su distribución en ciudades mexicanas, con énfasis en la problemática de la desigualdad socioespacial y en las dificultades que existen en producir y mantener dichos espacios. Posteriormente se inserta de forma breve el contexto normativo en México desde el cual se pretende mejorar la distribución de los EVP desde la esfera municipal.

DESIGUALDAD SOCIOESPACIAL EN LA DISTRIBUCIÓN DE ESPACIOS VERDES PÚBLICOS EN GUADALAJARA

Los espacios públicos son bienes de propiedad pública y de libre acceso esenciales para el desarrollo integral de las ciudades. Son lugares de libre tránsito y encuentro entre individuos y grupos socialmente heterogéneos que contribuyen al fortalecimiento de la identidad, el sentido de co-

munidad y de la ciudadanía (Jacobs, 1961; Borja, 2000; Goodsell, 2003; Ramírez Kuri, 2007; Kweon *et al.*, 1998; Kuo *et al.*, 1998).

Entre la diversidad de espacios públicos sobresalen, por su relevancia (y para los fines de este trabajo), los EVP, caracterizados por una importante presencia de arbolado y otros tipos de vegetación, así como por contar con adecuaciones que permiten actividades de ocio, recreación y descanso. Además de los beneficios sociales antes descritos, los EVP contribuyen con importantes beneficios a la salud física y mental de sus usuarios (Bendimo-Rung *et al.*, 2005; Hoehner, 2005; Cohen *et al.*, 2007; White *et al.*, 2017; Ma *et al.*, 2019), además de que otorgan diversos servicios ambientales al ecosistema urbano (Nowak *et al.*, 1997; Remme *et al.*, 2021), e incluso tienen efectos positivos en la valorización del suelo urbano (Bengochea, 2003).

No cabe duda de que los EVP son indispensables para mejorar la calidad de vida en las ciudades, por ello el acceso generalizado a estos bienes públicos urbanos es una meta de desarrollo presente en la agenda pública internacional y en la propia legislación mexicana. En este sentido, la Nueva Agenda Urbana promovida por Naciones Unidas determina varios compromisos en relación con los espacios públicos, como el Compromiso 67, relativo a “promover la creación y el mantenimiento de redes bien conectadas y distribuidas de espacios públicos...” (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2017, p. 23); mientras que por su parte los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS) establecen “proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles, en particular para las mujeres y los niños, las personas de edad y las personas con discapacidad” (ONU, 2015).

No obstante, en nuestras ciudades prevalece una condición de desigualdad socioespacial en el acceso a los espacios públicos. Al respecto, Ramírez Kuri (2015) reflexiona que en los procesos decisivos de las políticas públicas existen relaciones asimétricas de poder entre los actores sociales involucrados, asimetrías que terminan acentuando la desigual distribución de los bienes y recursos urbanos. De esta forma, las zonas urbanas consolidadas y de mayores ingresos

tienden a tener más y mejores espacios públicos, en comparación con aquellas localizadas en las periferias y zonas marginadas, lo que contribuye a la polarización social del espacio urbano (Gilbert, 1994).

Varios estudios nacionales han demostrado la persistencia de esta desigualdad socioespacial en el acceso a espacios públicos, en particular a las áreas verdes, y han concluido que las zonas de mayor densidad de población y de mayor grado de marginación por lo general disponen de menor cantidad y calidad de EVP, en comparación con las zonas residenciales de mayores ingresos; ello confirma los postulados de la Teoría de la Justicia Ambiental, que plantea que las zonas más marginadas de una ciudad tienen las peores condiciones ambientales (Muñoz, 2014; Fernández-Álvarez, 2017; Reyes y Bolea, 2018; Cruz-Sandoval *et al.*, 2020).

Los estudios antes mencionados dan pauta de la situación actual de la distribución de los EVP en ciudades mexicanas y pistas sobre las posibles causas y persistencia de la desigual distribución territorial de estos. Desde la revisión de los autores se han planteado dos argumentos relevantes: que la actual distribución desigual de EVP es el resultado de procesos históricos y diferenciados de urbanización de diversos grados de formalidad, y que la persistencia del fenómeno proviene en gran medida por la débil actuación de las instituciones públicas y sus políticas en cuanto a aminorar dicha condición, en ocasiones agravándola.

Concretamente en el caso del municipio de Guadalajara,² después de 1920 proliferaron asentamientos populares con viviendas auto-producidas cuya característica esencial fue la desatención de criterios de planeación urbana (Fausto-Brito, 2015). Estos procesos regularmente propician la insuficiencia de espacio para el establecimiento de bienes públicos, como áreas verdes o equipamientos, sea porque nunca fueron

considerados, sea porque fueron desapareciendo paulatinamente por procesos de abandono, invasión y privatización (Low y Smith, 2006).

Al respecto, Webster (2007) señala desde un enfoque económico que los espacios públicos tienden primero a subproducirse y luego a degradarse con el paso del tiempo, a reducirse de tamaño e incluso a extinguirse; derivado de su naturaleza económica del espacio público como un bien público o de uso común sujeto al problema del *Free Rider* y a la Tragedia de los Comunes (Hardin, 1968). Por su parte, Carmona (2010) identifica que los espacios públicos pueden perder sus cualidades sustantivas y su función social, e incluso privatizarse por fallas de gestión pública: desde el abandono o la negligencia de las políticas públicas, hasta su sobre regulación, sobre-vigilancia y mercantilización.

Desde esta lógica, los agentes privados tienden a urbanizar y edificar sin proveer los espacios abiertos y públicos que se requieren para alojar bienes y servicios comunitarios, pues maximizan la superficie para consumo privado. Lo anterior puede derivar en una suboferta de espacios públicos, los cuales más bien constituyen espacios residuales de procesos de urbanización o edificación. Así, pues, en estos casos los residuales espacios públicos resultantes tienden a su vez a la degradación, la invasión y la privatización derivadas del abandono social e institucional.

Considerando lo antes dicho, la problemática concreta de que parte este trabajo es la ya conocida segregación socioespacial de la ciudad de Guadalajara entre el poniente (altos ingresos) y el oriente (bajos ingresos), marcado simbólicamente por el trazo de la calzada Independencia (Ruiz Velazco Castañeda, 2005; Aceves, De la Torre y Safa, 2004), además de que el municipio central de Guadalajara se encuentra prácticamente urbanizado, con limitadas reservas urbanas y bajo un proceso de redensificación que acentúa la presión sobre el suelo público y los EVP disponibles. Ante un panorama de desigual distribución de los EVP, queda claro que remodelar los parques existentes no es una acción suficiente para mejorar el acceso generalizado a EVP, sino que es necesario implementar acciones de creación de nuevos EVP.

2. El municipio de Guadalajara es el centro urbano que dio origen a la tercera zona metropolitana más poblada de México. Esta condición hace que Guadalajara sea un municipio prácticamente urbanizado y con escasas reservas urbanas desde hace décadas, por lo que las políticas urbanas van más orientadas a la renovación urbana y la redensificación.

Una alternativa exitosa para la creación de nuevos EVP en zonas urbanizadas son los “Parques de Bolsillo”, a través de la reconversión de suelo público ocioso (incluyendo espacios subutilizados de la vía pública). Desde 2010 el municipio ha implementado una estrategia de parques de bolsillo poco estructurada y de reducidos alcances (Guadalajara entrega el cuarto “parque de bolsillo”, 2010), estrategia que tuvo mayor ímpetu en la administración 2018-2021. Por ello surge la idea de determinar en qué medida dichas acciones lograron beneficiar realmente a las colonias más necesitadas, partiendo desde los principios de la justicia espacial.

NORMATIVA NACIONAL EN MATERIA DE DISTRIBUCIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS EN MÉXICO

En México, la gestión de los espacios públicos urbanos es una competencia compartida por los tres niveles de gobierno: federal, estatal y municipal, pero que recae principalmente en estos últimos. El artículo 115 constitucional establece que los municipios tienen la responsabilidad de planificar su territorio, y por lo tanto de programar superficies para este fin en las nuevas urbanizaciones, y proveer los servicios públicos: calles, parques, jardines y su equipamiento; asimismo, son los encargados de las licencias de urbanización y edificación y del control del uso de suelo mediante la zonificación. Es decir, el municipio tiene bajo su responsabilidad la producción, la adecuación, la gestión y la regulación de la mayoría de los espacios públicos en las ciudades.

La Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (LGAHOTDU) define criterios generales y principios para la gestión del espacio público en los tres niveles de gobierno, entre los cuales sobresale procurar la protección, la progresividad y el acceso equitativo a los espacios públicos: “Se fomentará el rescate, la creación y el mantenimiento de los espacios públicos que podrán ampliarse, o mejorarse pero nunca destruirse o verse disminuidos” (Ley General de Asentamientos Humanos, 2016, p. 6).

Además, dicha ley, en su artículo 74, establece que los planes y programas de desarrollo urbano deberán definir una dotación de espacios públicos en cada barrio y colonia en una cantidad igual o superior a la establecida en las normas oficiales mexicanas, desde procesos basados en conocimiento y que incluyan a la ciudadanía. No obstante, los niveles mínimos de espacio público aún no han sido determinados por ninguna autoridad mexicana ni internacional; no solo porque no existe una definición estándar de espacio público (ya que es un término polivalente), sino también porque las necesidades y los usos de espacios públicos, así como las capacidades locales para dotarlos, son diferentes según el contexto ambiental, cultural, político y económico.

Por tanto, la normativa internacional y local ya establece criterios para promover el acceso a EVP a todas las personas sin importar su condición socioeconómica, y para ello es necesario tener herramientas que permitan conocer el estado actual de la distribución de estos espacios. Es, pues, el análisis de la distribución socio espacial de EVP el punto nodal de este trabajo, para lo cual se plantea la propuesta del índice como herramienta de análisis cuantitativo aplicada en el municipio de Guadalajara, el cual se contrasta con los programas municipales de creación y mejoramiento de EVP.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

En esta sección se presentan de forma resumida el proceso metodológico y los principales resultados obtenidos. Se explican las variables con las cuales se diseñó el índice para caracterizar territorialmente la necesidad de EVP en las colonias; posteriormente se describe el desarrollo de un inventario de las acciones de creación y mejoramiento de EVP que realizó el municipio de Guadalajara entre 2018 y 2021, de forma que se ha contrastado los resultados del índice con las acciones implementadas. Se ha añadido entrevistas a funcionarios clave para revelar la forma en que se decide qué colonias se vieron beneficiadas por dichas acciones municipales en materia de EVP.

ÍNDICE DE NECESIDAD DE ESPACIOS VERDES PÚBLICOS EN EL MUNICIPIO DE GUADALAJARA

El Índice de Necesidad de Espacios Verdes Públicos (INEVP) es un cálculo elaborado con apoyo del Sistema de Información Geográfica (SIG) con procesos vectoriales y de tipo ráster, el cual permite un diagnóstico preciso sobre la distribu-

ción socioespacial de EVP en las colonias. Es una propuesta original que calcula la relación entre la densidad de población como demanda potencial de EVP y la densidad de EVP como oferta. La interacción entre las variables de densidad de población y la densidad de EVP permite establecer cuatro tipologías de colonias según la necesidad de EVP, tal como se muestra en la tabla 1:

TABLA 1
Matriz general de variables del INEVP

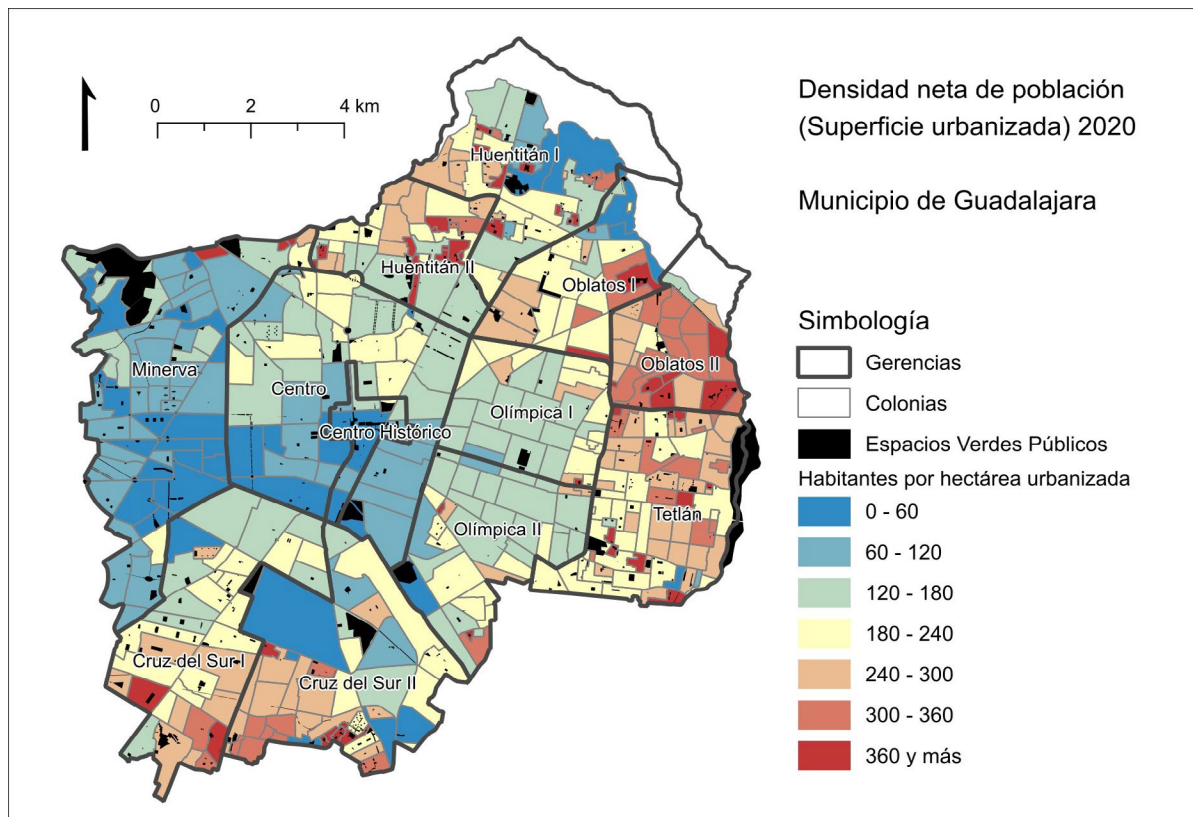
	Baja accesibilidad a EVP	Alta accesibilidad a EVP
Alta densidad de población	Alta necesidad de EVP	Necesidad de EVP intermedia
Baja densidad de población	Necesidad de EVP intermedia	Baja necesidad de EVP

La densidad de población aquí considerada se refiere a la densidad neta; es decir, a la cantidad de personas que viven en una superficie urbanizada y habitada, representada en hectáreas. Se integra al total de población, pues se parte del supuesto de que los EVP pueden ser disfrutados u otorgar beneficios directa o indirectamente a cualquier persona sin distinción de sexo o edad. Para realizar el estudio de densidad neta de población se integró un análisis en SIG con los siguientes datos: Población total por manzana en el municipio de Guadalajara, utilizando como fuente el Censo de Población y Vivienda 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y superficie urbanizada neta por manzana (se descartan superficies de grandes equipamientos, infraestructuras, zonas industriales, áreas verdes y áreas rústicas). En el mapa (figura 1) se observan los resultados:

Para conocer la densidad de EVP en el municipio de Guadalajara se generó un inventario de estos espacios actualizado al año 2018 (correspondiente al inicio de la administración municipal), para lo cual se desarrolló una definición práctica para identificar los EVP atendiendo a la revisión de la literatura, y quedó de la siguiente manera: Espacios urbanos de al menos 100 m² de superficie y anchura mínima de 5 metros, de propiedad pública y libre acceso, que contienen vegetación y mobiliario para desarrollar actividades de recreación.

En virtud de lo anterior, además de los bosques urbanos, parques, jardines y demás áreas verdes de fácil identificación, se han incluido los camellones con suficiente anchura, vegetación y equipados con mobiliario que funcionan como parques lineales; se incluyen asimismo unidades deportivas y plazoletas que tengan notorias áreas verdes. No se incluyen predios privados con vegetación o uso recreativo (como campo de golf o fútbol), ni el área natural protegida de la Barranca de Huentitán.

FIGURA 1
Densidad de población neta por colonia



Se utilizaron como fuente de información los planes parciales de desarrollo urbano vigentes (2018), así como imágenes aéreas cercanas al año 2018 provenientes de Google Earth y vistas de calle a través de Google Street View. Mediante un SIG se representó cada EVP con un polígono vectorial y se calculó su superficie en metros cuadrados; posteriormente se calcularon sus centroides en formato de punto; en el caso del EVP de gran tamaño se fragmentaron en varios polígonos.

Es importante señalar que en este inventario no se considera la calidad de los EVP, por lo que se asume que son de calidad similar, pues el fin de esta investigación se centra en su distribución espacial; no obstante, se reconoce que la calidad de ellos puede ser un elemento ponderador para dotar de mayor precisión al índice.

Existen muchas formas de estudiar la accesibilidad a EVP, pues las variables y los métodos cambian según los objetivos de cada investigación y la información disponible. De acuerdo con Garrocho

y Campos Alanís (2006), la accesibilidad es la facilidad con que se puede llegar a un lugar desde un punto concreto. En el caso de equipamientos y áreas verdes, la accesibilidad se puede analizar desde dos perspectivas técnicas: centrada en la oferta; esto es, a cuántos usuarios llega la cobertura desde la locación del inmueble, o centrado en la demanda; esto es, a qué equipamientos tienen acceso los usuarios desde su hogar.

De acuerdo con los autores, existen tres tipos de métodos para estudiar la accesibilidad: el primero basado en los costos de transporte, usualmente la distancia (temporal o espacial) entre origen y destino; el segundo basado en las oportunidades acumulativas, esto es a cuántos usuarios o equipamientos se puede acceder desde una locación concreta y un umbral de distancia predefinido; y finalmente el tercero a través de indicadores de interacción espacial donde, además de los costos del transporte y los umbrales de oportunidades acumulativas, se incluye

la dimensión del grado de atractividad; es decir, ponderando cuán deseable es un equipamiento respecto de otros.

En este trabajo se utiliza el análisis de accesibilidad desde el enfoque de la demanda, con el método de oportunidades acumulativas. Para este caso específico significa que para cada colonia se calcula la cantidad promedio de metros cuadrados de EVP a que se puede acceder a una distancia de 800 metros, por ser esta una distancia caminable y que representa el entorno de proximidad o escala vecinal.

Para estimar la accesibilidad a EVP desde las colonias, es necesario geoprocesar la nube de puntos de EVP para visualizar un patrón entendible visual y estadísticamente. Cuando se trabaja con fenómenos que ocurren en el territorio de forma discreta o puntual, es conveniente identificar los patrones de concentración, y poder asignar un valor a las zonas donde no hay puntos pero que tienen influencia o cercanía de estos.

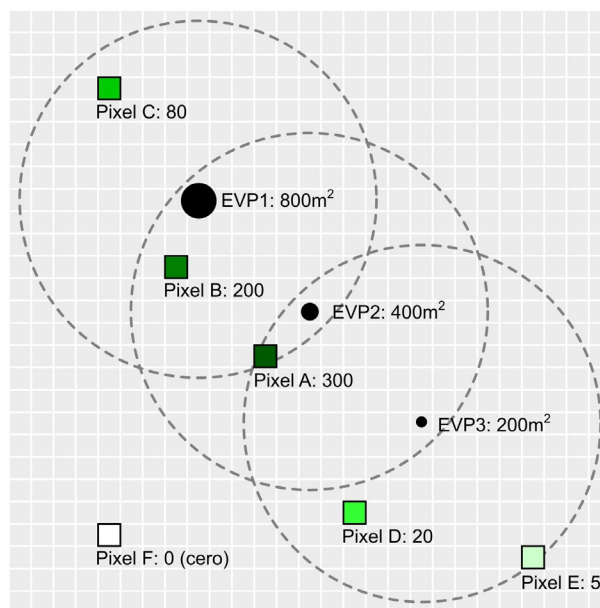
Para ello se procedió a aplicar un geoprocesamiento de interpolación denominado densidad Kernel, la cual permite distribuir el valor de un punto (en este caso la superficie en metros del EVP) dentro de una superficie radial. El resultado es un mapa continuo de densidad de EVP donde cada píxel representa 100 m^2 y se obtiene un valor del promedio de metros cuadrados de EVP que podrían encontrarse en una hectárea dentro de un radio de búsqueda de 800 metros cuyo centro es el propio píxel.

Los píxeles más próximos a los puntos que representan al EVP reciben un valor más alto, mientras que los más alejados reciben un valor más bajo hasta llegar a cero afuera del radio de 800 metros. El valor de la superficie del EVP se distribuye de forma no lineal sobre la superficie del círculo de radio de 800 metros, siguiendo

un patrón de distribución gaussiana o normal, de forma que los valores se reducen conforme se alejan del centro. De esta forma, las colonias que no tengan en su interior un EVP alcanzarán a obtener un valor de densidad si en un radio de 800 metros a lo largo de su perímetro alcanzan el punto que representa a un EVP, y si existen varias EVP cercanos se suman sus valores.

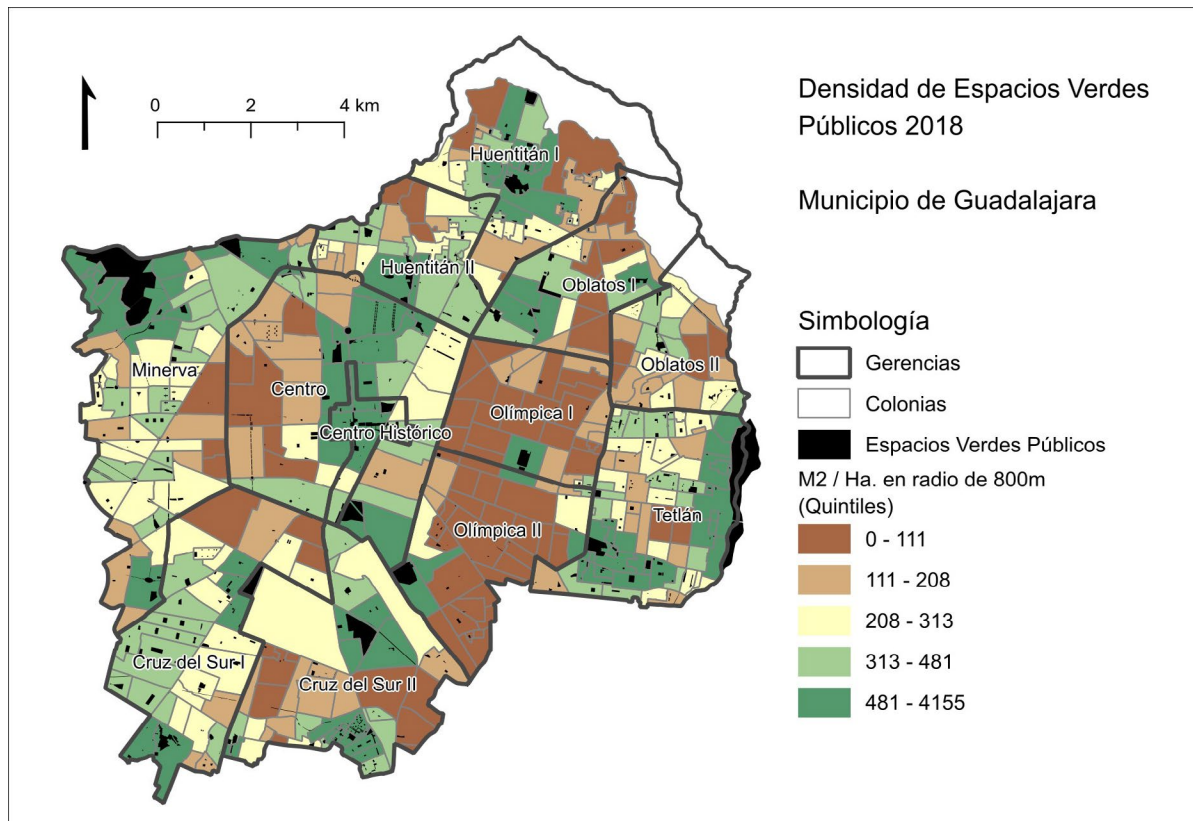
FIGURA 2

Esquema simplificado del geo proceso de densidad Kernel



Para facilitar la representación cartográfica de los datos se establecieron cinco rangos quintiles diferenciados con un gradiente de color café - amarillo - verde, para indicar intuitivamente la carencia o abundancia de EVP. Finalmente, es necesario que el continuum de valores por píxel sea agregado a escala de colonia a través de un promedio, con lo cual se pierde un poco de información, pero se permite la homologación necesaria para ser insertado en el índice.

FIGURA 3
Densidad de espacios verdes públicos por colonia



Posteriormente se utilizó un geoproceso para calcular el INEVP, el cual consistió en dividir simplemente la densidad de EVP entre la densidad neta de población. Los valores obtenidos indican el promedio de metros cuadrados de EVP por hectárea por persona en un radio de 800 metros alrededor de una colonia. Si bien la interpretación numérica puede resultar poco práctica (porque no es directamente metros cuadrados por habitante), basta con establecer una escala ordinal de cuatro rangos equidistantes (cuartiles), de forma que se puede apreciar el 25% de colonias con alta necesidad de EVP, después el siguiente 25% con necesidad media-alta, luego el 25% con valores media-baja, y finalmente el último 25% de colonias con bajo nivel de necesidad e EVP. Lo antes dicho se muestra en el siguiente mapa (figura 4):

Hasta aquí los resultados podrían ser suficientes para evaluar el acceso a EVP desde una relación de oferta-demanda que no considera diferencias sustanciales en las capacidades socioeconómicas de las colonias. Sin embargo, desde el enfoque de desigualdad socioespacial se puede ajustar el modelo para ponderar los resultados previos en función de la variable socioeconómica, para lo cual se ha tomado como fuente de información el indicador de niveles socioeconómicos 2010 de la Asociación Mexicana de Agencias de Investigación de Mercado y Opinión Pública (AMAI). En el siguiente mapa (figura 5) se muestra dicha distribución por colonia:

FIGURA 4

Índice de Necesidad de Espacios Verdes Públicos sin ponderar

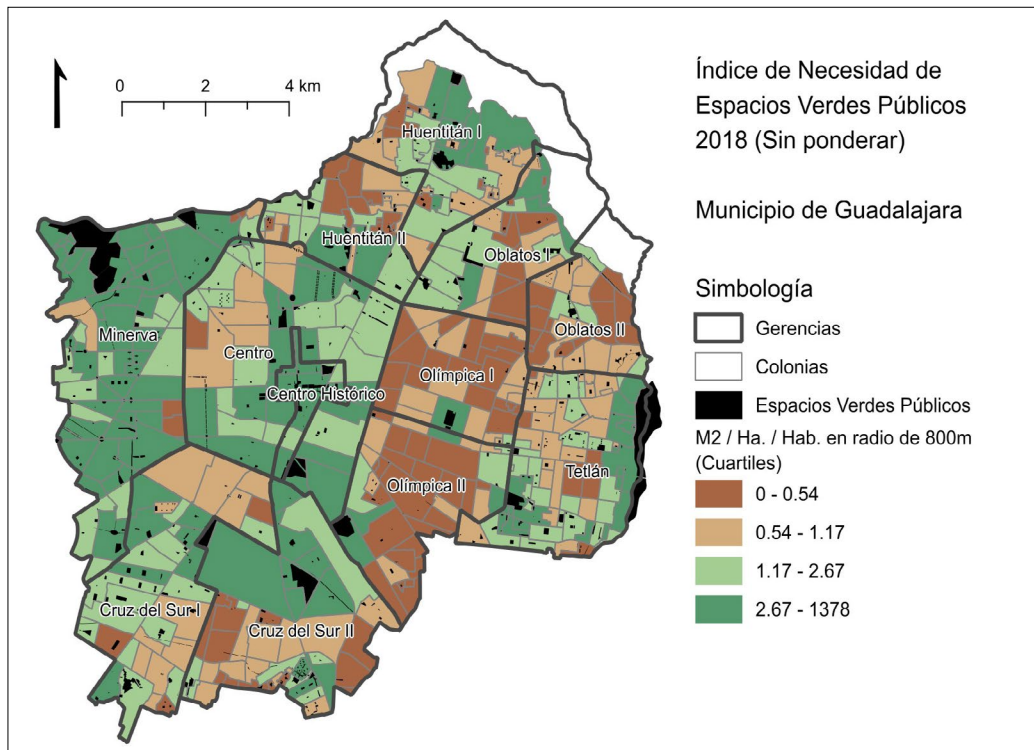
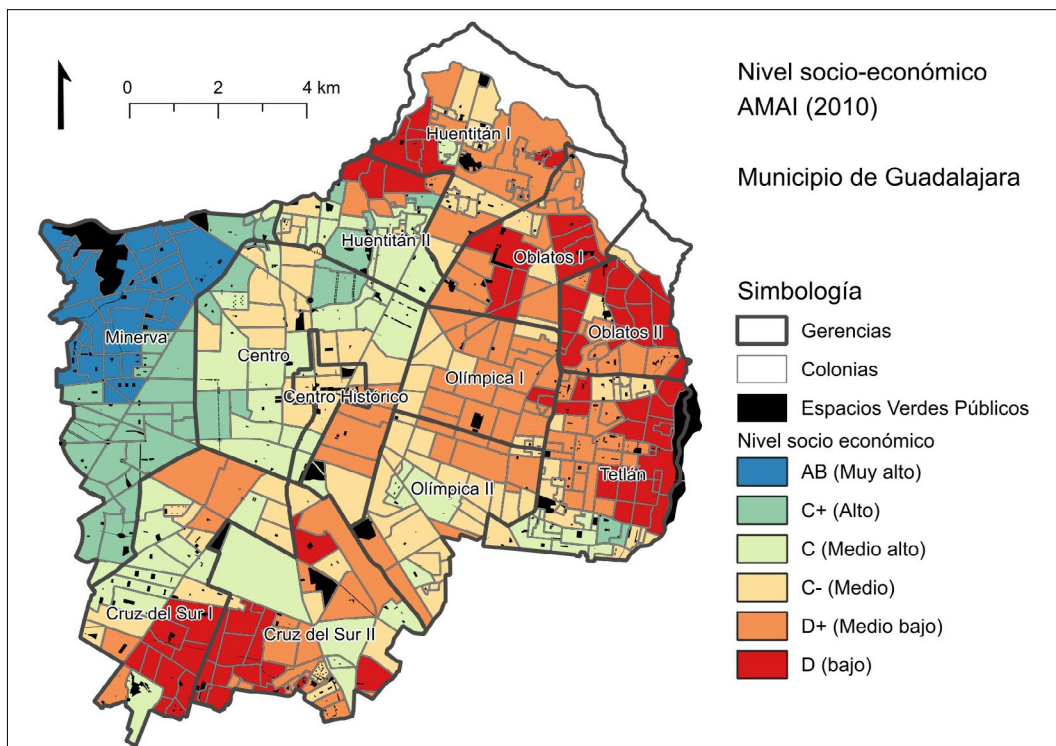


FIGURA 5

Nivel socioeconómico por colonia



Las dimensiones previstas en este indicador son: Vivienda adecuada, infraestructura sanitaria, equipamiento doméstico, acceso a tecnología informática y de las comunicaciones, capital humano y planificación económica, y clasifica ocho niveles socioeconómicos: AB, C+, C, C-, D+, D, y E (de los cuales solo los primeros seis

están presentes en Guadalajara). En la siguiente tabla se muestra de forma esquemática el cruce entre el INEVP y los niveles socioeconómicos, de los cuales surgen cuatro tipologías y sus respectivos niveles de prioridad desde el enfoque de desigualdad socioespacial.

TABLA 2

Matriz general de resultados del INEVP ponderado por nivel socioeconómico

	Nivel socioeconómico bajo	Nivel socioeconómico alto
Alto INEVP	Colonias de bajos ingresos con bajo acceso a EVP: Máxima prioridad	Colonias de altos ingresos con bajo acceso a EVP: Prioridad media
Bajo INEVP	Colonias de bajos ingresos con alto acceso a EVP: Prioridad media	Colonias de altos ingresos con alto acceso a EVP: Mínima prioridad

La ponderación resulta de una multiplicación entre valor del INEVP y el factor de nivel socioeconómico, el cual se estableció según fracciones equidistantes de los seis niveles socioeconómicos de la siguiente manera: $AB * 6/6$, $C+ * 5/6$, $C * 4/6$, $C- * 3/6$, $D+ * 2/6$ y $D * 1/6$. Cuantitativamente esto implica que en colonias con un nivel socioeconómico bajo se reduzca la disponibilidad de EVP.

Los resultados intensifican la polarización entre oriente y poniente del municipio de Guadalajara (el poniente del municipio de Guadalajara suele concentrar las colonias de mayores ingresos, mientras en el oriente ocurre lo contrario), algunas colonias en el poniente pasaron de un tono marrón a verde porque, a pesar de tener bajo acceso a EVP, podría pensarse que tienen mejores capacidades económicas para solventarlo o suplirlo por otros medios, mientras que lo contrario ocurre, por ejemplo, en el oriente, donde algunas colonias pasan de un tono verde a uno marrón por el efecto del ajuste socioeconómico. Los resultados se muestran más adelante.

APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA A PROGRAMAS DE CREACIÓN Y MEJORAMIENTO DE ESPACIOS VERDES PÚBLICOS

Hasta aquí se tiene la metodología para un diagnóstico detallado y preciso sobre la distribución de EVP en un año determinado, pero se puede dar otro paso y analizar la localización y las características de las acciones de creación y mejoramiento de EVP realizadas *a posteriori*, y con ello conocer si dichas acciones beneficiaron a las colonias más necesitadas. Para ello se requiere hacer un inventario municipal de acciones de mejoramiento y creación de EVP entre 2018 y 2021.

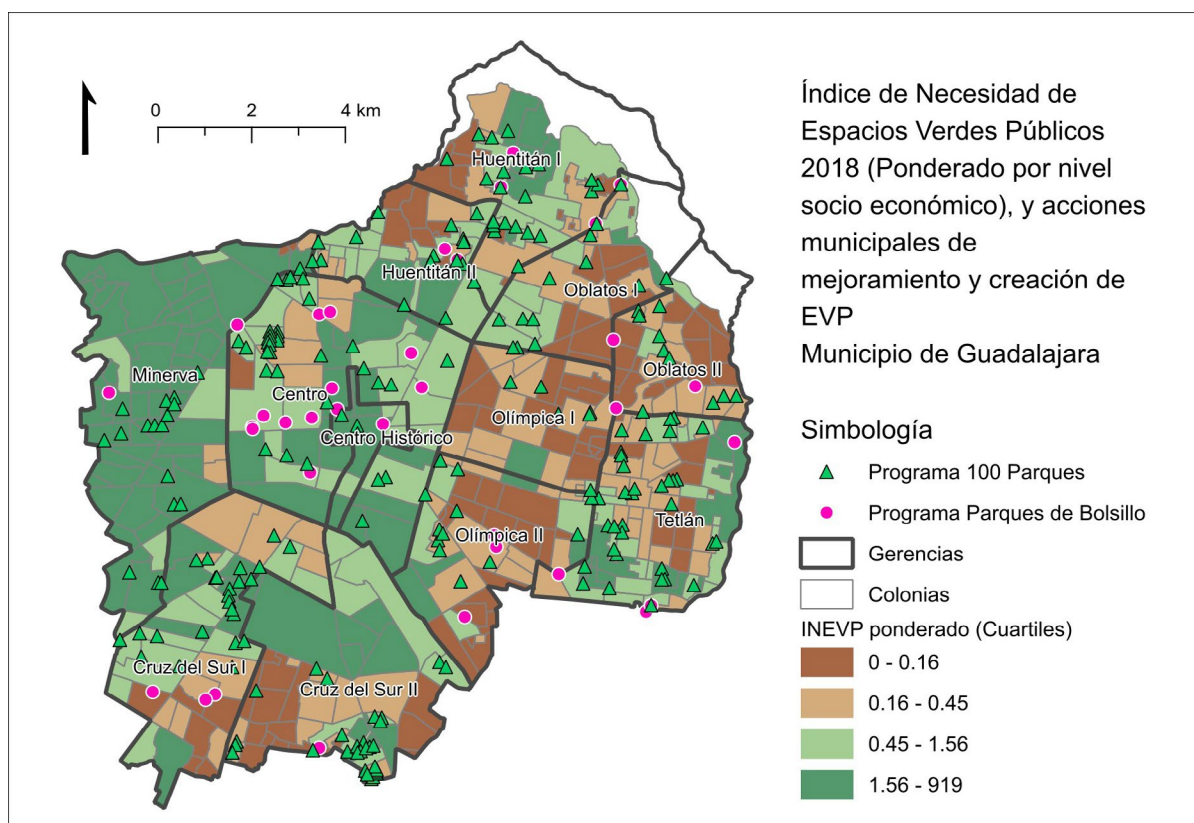
Este inventario se elaboró con información primaria municipal, derivada de múltiples solicitudes de información pública en el portal oficial de la Plataforma Nacional de Transparencia,³ a las direcciones municipales facultadas para ello. La base de datos se integró con las siguientes variables: domicilio, nombre del lugar, superficie y tipo de intervenciones georreferenciaron en un SIG. Los

3. La Plataforma Nacional de Transparencia (PTN) es un portal web del gobierno federal de México donde los ciudadanos pueden realizar solicitudes sobre información de naturaleza pública, las cuales deben ser respondidas en tiempo y forma por los sujetos obligados de los tres niveles de gobierno. Disponible en: <https://www.plataformadetransparencia.org.mx/>

programas incluidos fueron Parques de Bolsillo y 100 Parques; el primero basado en la creación de nuevos EVP, principalmente a través de suelo público vacante o reconversión de la vía pública, y el segundo dedicado al mejoramiento de EVP

preexistentes (parques, jardines, plazas, etcétera). En el siguiente mapa se sobreponen las acciones de dichos programas con el resultado del INEVP (ponderado por el nivel socioeconómico):

FIGURA 6
Acciones de EVP contrastadas con el INEVP



Puede identificarse que Parques de Bolsillo tuvo una notoria presencia cuantitativa en la zona o gerencia Centro,⁴ debido a diversas acciones de reconversión de la vía pública, mientras que, en aspectos de superficie sobresale la zona Huentitán II, por la generación de un nuevo parque de mayor tamaño en un predio municipal vacante. Por su parte, la zona Olímpica I no tuvo ninguna acción de parques de bolsillo, y es, además, la que menos EVP dispone, de acuerdo con el INEVP.

En cuanto a 100 Parques, las zonas Centro y Tetlán destacan por cantidad como en superficie de EVP mejorados, superando a zona Minerva, que es la que tiene mayor cantidad de EVP (los parques de esta gerencia fueron renovados en la administración 2015-2018). En cuanto a las zonas o gerencias con menor renovación de EVP existentes es Olímpica I y II (lo cual puede esperarse porque no posee EVP qué renovar). En la tabla 3 se muestra la distribución de acciones y de superficie atendida en ambos programas por zona o gerencia:

4. Durante la administración 2018-2021, el municipio de Guadalajara se dividió administrativamente en doce zonas o gerencias.

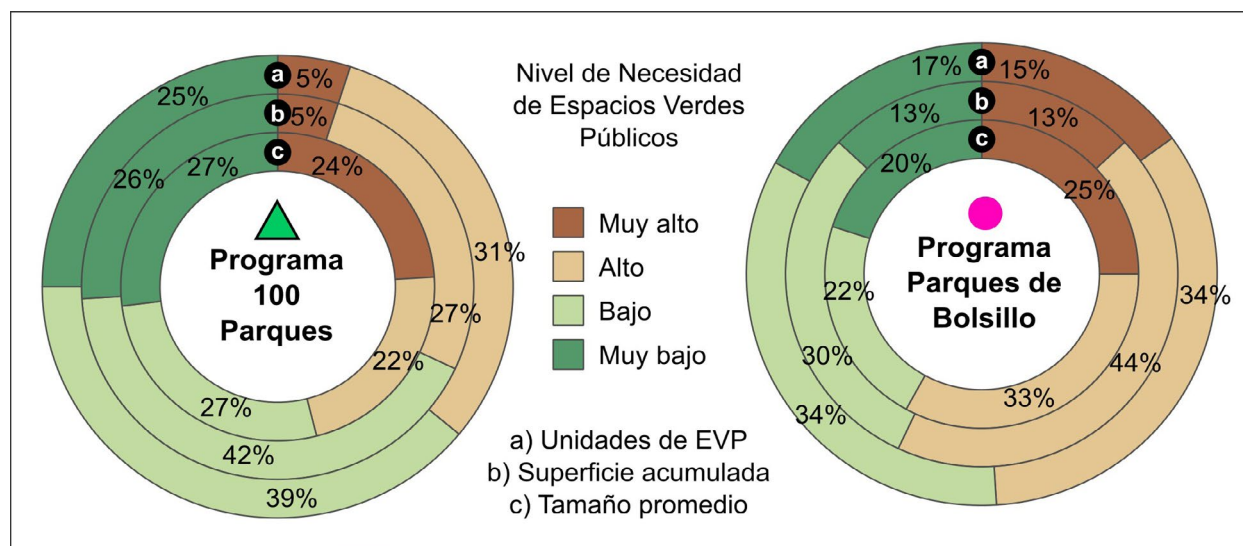
TABLA 3
Relación de Parques de Bolsillo y 100 Parques por gerencia de zona

Gerencia de Zona	Programa Parques de Bolsillo		Programa 100 Parques	
	Unidades	Superficie	Unidades	Superficie
Centro Histórico	2	1,640	3	12,373
Centro	11	7,870	35	118,659
Minerva	2	5,882	18	88,035
Huentitán I	2	9,980	15	73,001
Huentitán II	3	9,161	23	63,395
Oblatos I	1	6,800	12	85,395
Oblatos II	3	7,160	10	57,759
Olímpica I	0	0	6	21,057
Olímpica II	4	5,578	12	33,521
Tetlán	3	2,547	34	127,985
Cruz del Sur I	3	1,950	24	105,706
Cruz del Sur II	1	3,593	29	83,579
Total	35	62,161	221	870,465

Como último paso, al inventario de acciones del programa Parques de Bolsillo y del programa 100 Parques se le añadió el valor del INEVP de la colonia donde se localizan, para conocer el total de intervenciones, la superficie intervenida acumulada y el tamaño promedio de intervención

por cada nivel o rango de necesidad de espacios verdes públicos. A continuación se muestra la distribución de las acciones de estos programas en función del INEVP organizado en los cuatro rangos presentados previamente.

FIGURA 7
Distribución de acciones del programa 100 Parques y Parques de Bolsillos según INEVP



Nota: El anillo exterior representa la distribución por total de acciones; el anillo intermedio representa la distribución en función de superficie intervenida acumulada, y el anillo interior es una representación del tamaño promedio de las intervenciones.

Como se puede observar, el programa 100 Parques tendió a beneficiar ligeramente más a las colonias con niveles de necesidad de EVP Bajo y Muy Bajo, lo cual puede esperarse debido a que dichas colonias tienen más parques que pueden ser intervenidos por este programa de mejoramiento. En este sentido, este programa coadyuvó poco a reducir la brecha de desigualdad en la distribución de EVP en Guadalajara.

Ante esta problemática, el programa de Parques de Bolsillo, al ser una estrategia de creación de nuevos EVP, debería poder subsanar dichas restricciones en las colonias con mayor necesidad; situación que de alguna forma ocurrió parcialmente, ya que tuvo un pequeño sesgo hacia las colonias más necesitadas de EVP, aunque no por la cantidad de intervenciones, sino por el tamaño de estas, principalmente por espacios vacantes encontrados en zonas periféricas y de origen popular del municipio.

APARTADO CUALITATIVO. RESULTADOS DE LAS ENTREVISTAS

Los resultados obtenidos hasta aquí solo alcanzan a describir cuantitativamente el fenómeno de la distribución socioespacial del programa. A fin de indagar sobre las causas de dicha distribución y la lógica de la acción pública, se implementó un conjunto de entrevistas semiestructuradas a funcionarios públicos clave, a fin de identificar los momentos críticos del proceso de formulación e implementación de los programas de EVP en Guadalajara entre 2018 y 2021, así como los factores determinantes del impacto en la distribución espacial, partiendo del supuesto de que los procesos con mayor gobernanza tienden a resultados más justos.

De las cinco entrevistas realizadas se presentan en este trabajo las dos más relevantes y que aportan información valiosa sobre el proceso de toma de decisión sobre qué colonias se verían beneficiadas por estos programas. Los perfiles aquí mostrados cubren diferentes ámbitos y escalas relacionados con el diseño y la implementación

del programa Parques de Bolsillo en específico, y de la gestión de los EVP en general.

GESTIÓN DE LOS EVP EN LA GERENCIA OBLATOS II

Durante la administración 2018 – 2021, el municipio de Guadalajara organizó la gestión de bienes y servicios en su territorio a través de la delimitación espacial de doce zonas o gerencias, cada una bajo la responsabilidad de un gerente y su equipo de trabajo, quienes dependían directamente de la Presidencia Municipal, y cuya principal labor era gestionar y dar seguimiento a las solicitudes de los vecinos en materia de prestación de servicios municipales, como luminarias, pavimentos, recolección de basura, seguridad, agua potable, espacios verdes públicos, entre otros.

Se entrevistó al entonces gerente de Zona II Oblatos, por tratarse de una de las zonas con mayor densidad de población, mayor grado de marginación urbana y menor disponibilidad de EVP. Según informa el gerente, la colaboración entre gerencia y vecinos es una actividad orgánica que se facilita mediante grupos de *Whatsapp*, y son los líderes vecinales quienes tienen mayor contacto con la gerencia: “...no son siquiera presidentes de colonos o consejo... son las personas que se preocupan y se ocupan por las problemáticas de su colonia, y que son ellos también los que se encargan de involucrar a los vecinos”. Aunque no lo comenta el entrevistado, es factible creer que el papel protagónico que tienen estos líderes vecinales como enlace entre colonos y gerencia se vea influenciado en algún punto por intereses políticos.

En cuanto a los proyectos urbanos y de obra pública, la gerencia tiene la función de facilitar los procesos de “participación ciudadana” entre las áreas técnicas de las direcciones y los vecinos, aunque a veces esta participación es de alcances limitados y se trata más bien de la llamada “socialización de proyectos”, que consiste en proveer a los vecinos de información general sobre las obras y proyectos que se van a realizar y, en su caso, encuentras de validación, pero con una limitada injerencia sobre las decisiones relevantes.

Cuando lo solicitado son acciones de mantenimiento o reparación, la gerencia lo gestiona directamente con las direcciones competentes; pero, si es un proyecto de mayor complejidad y que requiere presupuesto, entonces la gerencia lo gestiona con Presidencia. De acuerdo con lo que comenta el gerente, una vez al mes tienen reuniones de seguimiento con el alcalde, momento en el cual es oportuno exponer las solicitudes de proyectos que requieren presupuesto.

Según se puede interpretar de lo dicho en la entrevista, el criterio preponderante para la autorización de proyectos de EVP que requieren presupuesto es la igualdad territorial; es decir, que todas de las zonas puedan verse beneficiadas de las acciones municipales, y con ello se cubra al menos de forma representativa el territorio municipal. El presidente municipal solicita a los gerentes determinada cantidad de sitios donde sea factible desarrollar proyectos de EVP, lo cual implica que las gerencias deban trabajar en campo con sus redes vecinales para llevar proyectos a la agenda municipal. Esto implica que la distribución de proyectos y recursos públicos se vea influenciada por la proactividad de gerentes y vecinos.

Dentro del territorio de la gerencia Oblatos II se realizaron tres nuevos EVP durante la administración municipal 2018-2021; de acuerdo con el entrevistado ninguno de estos fue producto de una gestión vecinal, sino de dependencias de gobierno o de decisiones predefinidas a través del programa anual de presupuesto participativo.⁵ Esta débil participación ciudadana para promover la creación de nuevos EVP es atribuida por el gerente a que existe en general una apatía del ciudadano, que no se interesa o no se involucra en temas de interés público, en parte debido a desencanto o falta de confianza respecto de los servidores públicos.

5. Cada inicio de año la tesorería municipal promueve el pago del impuesto predial, preguntando a los contribuyentes qué proyectos prefiere que se realicen en su zona, considerando varias opciones predefinidas.

PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA PARQUES DE BOLSILLO

La antigua Dirección de Proyectos del Espacio Público tenía la atribución de elaborar proyectos de remodelación o creación de espacios públicos. De acuerdo con la entrevista realizada al exdirector, la selección, la ejecución y el mantenimiento de un proyecto de espacio público implica la colaboración y la coordinación de varias direcciones y varios procesos. Pero, a los fines de esta investigación, se ha centrado en el proceso de selección de las colonias o zonas beneficiadas para proyectos de creación de nuevos EVP, donde se incluyen las acciones del programa parques de bolsillo.

De acuerdo con el entrevistado, existen cinco canales principales para iniciar un proyecto de espacio público, lo cual implica necesariamente definir un sitio a intervenir, y por lo tanto una población beneficiada:

1. Proyectos promovidos por la propia Dirección, basados en diagnósticos previos u oportunidades encontradas en campo.
2. Proyectos promovidos por la participación ciudadana, a través de la Dirección de Participación Ciudadana o las gerencias de zona.
3. Proyectos promovidos por el sector empresarial organizado a través del Consejo de Cooperación para el Desarrollo Urbano.
4. Proyectos promovidos por otras dependencias de gobierno.
5. Por instrucciones de la presidencia municipal.

Los proyectos de parques de bolsillo implican muchas veces reacondicionar secciones de la vialidad pública, y con ello afectar prácticas sociales arraigadas que tienen los vecinos en dichos espacios. De acuerdo con el entrevistado, los vecinos suelen estar en contra de los parques de bolsillo, ya que los espacios intervenidos son frecuentemente utilizados como estacionamiento, para fines comerciales y otros usos particulares. Por tanto, el entrevistado informa que ningún parque de bolsillo ha sido solicitado por vecinos, y que se trata más bien de promociones gubernamentales.

El entrevistado comenta que las gerencias de zona se han ido consolidando como el principal canal donde las necesidades y solicitudes de los vecinos se gestionan para atender asuntos de servicios y obra públicos. Por tanto, los gerentes de zona son un factor importante, y cada uno trabaja de forma diferente: "...unos son más movidos que otros". Además refiere que las empresas también han participado, pero en menor escala y a través del Consejo Social de Cooperación para el Desarrollo Urbano, el cual es un organismo de colaboración pública-privada para proyectos de obra pública donde el sector empresarial tiene representación. Desde lo expuesto por el entrevistado, se aprecia que las asociaciones vecinales no fueron un actor preponderante en liderar la promoción de proyectos de espacio público, al menos en lo que se refiere al programa Parques de Bolsillo.

DISCUSIÓN: PRINCIPIO DEL ACCESO IGUALITARIO AL ESPACIO PÚBLICO COMO EJE ORIENTADOR DE LAS POLÍTICAS PÚBLICAS

Más allá de las complicaciones propias del diseño y la implementación de las políticas públicas, estas son decisiones gubernamentales que tienden un puente entre la forma en la que el poder comprende la realidad y la realidad entendida desde quienes viven los problemas. En este sentido, el espacio público se presenta como un objeto de política con particulares complicaciones, porque es además un espacio físico que socialmente nos determina; es decir, construir espacios públicos es un proceso socialmente recursivo (Gehl, 2014, p. 9).

Ahora bien, muchos de los beneficios que el espacio público puede otorgar son dependientes de la homogeneidad de su distribución geográfica (Soja, 2010), considerando constante una misma calidad en su gestión y con independencia de la especificidad de cada intervención. En esencia, el principio de homogeneidad es subyacente al cumplimiento de la función del espacio público. Si bien esta hipótesis suena exageradamente academicista o utópica, lo cierto es que las normas

modernas ya establecen principios para que las nuevas urbanizaciones planificadas cuenten con una adecuada distribución.

Sin embargo, no basta el cumplimiento del principio para lograr la accesibilidad: diversas complicaciones se van añadiendo que impiden un acceso universal; esto es: estrategias de diseño excluyentes donde se implementan dispositivos y mobiliario disuasivos para que los espacios solo puedan ser usados por corto tiempo (Mitchell, 2003); la calidad de la gestión y el mantenimiento de los espacios públicos no garantiza el derecho a su uso (Gottsbacher & Erazo, 2016); finalmente, los espacios públicos abandonados tienden a ser privatizados (Carmona, 2010) mediante diversas estrategias: posesión, ejercicio de formas de violencia, hasta el cercamiento.

No obstante lo anterior, el principio de homogeneidad es un punto de partida relevante, pues establece un parámetro de referencia que nos permite reconocer el estado que guarda la distribución del espacio público, y con ello nos permite avanzar en incitar acciones de distribución. Desde una temporalidad amplia, el índice propuesto permite realizar evaluaciones sincrónicas de la distribución del espacio público desde un enfoque que tiene presente el fenómeno de la desigualdad. Es, por tanto, una herramienta básica para entender en este tema la segregación espacial y poder diseñar acciones de política al respecto.

En relación con el caso de estudio en el municipio de Guadalajara, el diagnóstico realizado es detallado y preciso, y permite mostrar de forma clara la ya conocida polarización socioespacial desde la arista de la distribución de los EVP. La geolocalización de las acciones municipales en materia de EVP sobre el mapa diagnóstico permite ejercicios de autoevaluación de las áreas técnicas y los tomadores de decisiones, y en este caso quedó palpable que una estrategia dirigida a mejorar los EVP existentes no beneficiará a las colonias más necesitadas, en tanto la estrategia de parques de bolsillo emprendida por el municipio sí lo logró.

En este sentido, aun cuando las políticas federal y local tengan principios de homogeneidad

en el acceso a EVP, es indispensable generar alternativas que permitan generar nuevos EVP en zonas urbanas consolidadas, y focalizarlas en las colonias con mayores carencias al respecto. La metodología aquí presentada puede servir de apoyo en procesos de autoevaluación, pero es más importante para la planificación de la política de EVP y sus acciones concretas.

CONCLUSIONES, REFLEXIONES Y RECOMENDACIONES

La conclusión más relevante de este trabajo está vinculada al ejercicio de las políticas públicas, en relación con la importancia de generar indicadores cuantitativos de referencia. El índice aquí desarrollado y probado permitió observar la distribución de EVP en el municipio de Guadalajara. Al ponderar el INEVP por nivel de ingresos se comprueba la ya conocida polarización social del espacio en el municipio de Guadalajara.

El índice geoespacial aquí propuesto abona, con una metodología precisa y replicable, otros municipios y ciudades donde exista información censal por manzanas. Su principal aporte es que muestra la interacción entre la densidad de EVP y la densidad de población como un fenómeno geográfico continuo con precisión de píxel o malla; a los fines de este trabajo los datos se agregaron y representaron gráficamente por colonias.

La mayoría de las colonias de zona Centro y zona Minera tiene un bajo índice de necesidad de EVP, porque hay mayor densidad de EVP, menor densidad de población y mayor nivel de ingresos. Mientras tanto, las colonias localizadas hacia el norte, oriente y sur del municipio tienen mayor necesidad de EVP, ya que tienen menor densidad de EVP, mayor densidad de población y menor nivel de ingresos. Como se señaló, esto es resultado de procesos históricos y diferenciados de urbanización formal-informal.

El inventario geolocalizado de acciones municipales de los programas 100 Parques y Parques de Bolsillo, implementadas entre octubre de 2018 y septiembre de 2021, se ha contrastado con el

nivel de necesidad de EVP de las colonias. El programa 100 Parques ha favorecido en mayor proporción a las colonias con necesidad baja y muy baja de EVP (con 68% de la superficie atendida por el programa, mientras que las colonias con necesidad muy alta solo tienen el 5%). Esto es entendible, dado que no es posible renovar parques en colonias que no cuentan con estos espacios. Por lo tanto, cualquier política de mejoramiento o renovación de EVP dejará sin atención a las colonias más necesitadas.

Para que una política de espacio público logre beneficiar a las colonias que no poseen dichos espacios es necesario crearlos. Desde esta lógica, los parques de bolsillo son una estrategia idónea para atender estas colonias carentes de EVP. Los resultados del análisis cuantitativo revelan que las acciones de este programa tuvieron un ligero sesgo en beneficiar a las colonias más necesitadas, pues estas obtuvieron en conjunto el 57% del total de la superficie intervenida por el programa (sumando los niveles Alto y Muy Alto del INEVP).

Además, la estrategia de creación de nuevos EVP a través de Parques de Bolsillo implementada en Guadalajara nos permite observar que dicha estrategia no solo es posible, sino también tiene amplias oportunidades como parte una política integral de renovación urbana en zonas centrales con poca disponibilidad de suelo público vacante, como en el casco antiguo de la ciudad y en colonias populares consolidadas que se originaron como asentamientos populares en las últimas décadas del siglo XX.

Por otra parte, los resultados del apartado cualitativo nos revelan que, al menos en este caso, la participación ciudadana en realidad no fue relevante en la toma de decisión sobre la localización de parques de bolsillo, ya que ninguno fue producto de gestiones vecinales. Los parques de bolsillo fueron decisiones gubernamentales más bien centralizadas, principalmente por las oportunidades en campo que encontraba la Dirección a cargo del Programa, o por instrucción de la propia Presidencia Municipal; en cualquier caso, sin contar con herramientas precisa de diagnóstico territorial previo que pudieran orientar mejor estas acciones hacia las colonias más necesitadas.

El índice aquí presentado tiene como principal ventaja la precisión con que puede representar la distribución de los EVP en una ciudad desde el enfoque de la desigualdad socioespacial, ya que aporta elementos técnicos y conceptuales para incorporar la variable de la densidad de población y los niveles de ingresos, a escala de píxel. Además del diagnóstico de la distribución de los EVP, permite monitorear la efectividad que tendrían las acciones municipales de creación de nuevos EVP, o, en su caso, los efectos que tendría la desaparición de estos. Por tanto, este índice ayuda a diagnosticar, pronosticar y dar seguimiento a políticas de EVP, teniendo en cuenta el dinamismo de los fenómenos demográficos y de la propia tendencia a la subcreación y desaparición de los EVP, en especial en contexto de redensificación intraurbana.

Existen áreas de oportunidad, como incluir la calidad de los EVP como un elemento ponderador, e integrar la red vial y de transporte público como condicionante en el acceso a EVP a través de otras herramientas de geoproceto. Desde el enfoque cualitativo se podría profundizar haciendo estudios de caso de colonias, para contrastar el modelo analítico con la realidad del usuario, y no solo de los tomadores de decisiones.

La herramienta aquí presentada puede ser, sin duda, un importante apoyo técnico para conocer con precisión el estado actual de la distribución socioespacial de EVP y, más importante aún, orientar la agenda pública de creación y mejoramiento de EVP hacia las colonias que más los necesitan. De esta forma, los gobiernos locales pueden contribuir a reducir la persistencia de la desigualdad socioespacial en una de sus muchas caras, en este caso los EVP.

La primera reflexión que deriva de este estudio es sobre la relevancia de que el principio de igualdad de oportunidades quede impregnado de forma sustantiva en las políticas públicas, no solo de espacio público, sino también de ciudad. Si bien la desigualdad socioespacial es una condición estructural compleja y multifactorial, es posible orientar las políticas públicas para priorizar la reducción de brechas en el acceso a bienes y servicios públicos.

Por otra parte, se considera pertinente avanzar la discusión en definir con mayor precisión la pertinencia y los alcances de la participación ciudadana y de la gobernanza en la gestión de bienes públicos en un marco de marcadas desigualdades socioespaciales. Desde esta perspectiva, es necesario identificar con claridad en qué condiciones, en qué aspectos, en qué etapa del proceso y de qué forma debe implementarse o facilitarse la participación ciudadana en la gestión de los espacios públicos, considerando además la diversidad de tipologías y escala de estos espacios.

De otra forma, se corre el riesgo de que el verdadero potencial de la participación ciudadana en la gestión de espacios públicos se diluya en malas prácticas, como la mediatización (Guillén *et al.*, 2009), en el sentido de que la comunicación pública de los eventos de participación con vecinos es políticamente rentable, pues, en ocasiones “...es más un instrumento de información o persuasión que un lugar de deliberación democrática” (Bourdin, 2007, p. 5).

La reflexión de la participación ciudadana y de la gobernanza en la gestión de espacios públicos también debe incorporar el enfoque de desigualdad socioespacial. La gobernanza como modelo ideal ha probado dificultades empíricas sujetas a debate, pues existen posturas críticas respecto de cuán democrática es. De acuerdo con la revisión de literatura de Martí *et al.* (2011), existe una línea de pensamiento de diversos autores que observan en la gobernanza una retirada del Estado y de sus funciones representativas y redistributivas para institucionalizar la participación de élites empresariales en la hechura de políticas públicas, reproduciendo las desigualdades y las asimetrías de poder respecto del resto de los actores sociales.

A efectos de reconocer la importancia de producir y mantener el espacio público, es necesario distinguir los actores que inciden en él, ya que existe el riesgo de sobresimplificación propio de las intervenciones realizadas por instituciones públicas. Nuevas perspectivas tratan de apartarse de las lógicas gerenciales y burocráticas y proponen avanzar en la apertura a nuevos escenarios alternativos, lo que Subirats denomina “la lógica

de la ecología social” “hacia la coproducción de lo público” (Subirats, 2016), a fin de no esquivar la naturaleza conflictiva del espacio público y, por el contrario, impulsar una lógica de coproducción, evitando con ello que el espacio público pueda ser tratado como una mercancía, o que la participación social puede ser sustituible (Pradilla, 2016).

En este sentido, el indicador aquí propuesto nos ofrece datos para discutir lo público, para construir otra realidad que pueda incrementar la calidad de vida de los ciudadanos; por supuesto, no es suficiente y no es lo único, pero es un avance en ese sentido.

El diseño y la implementación de políticas públicas de gestión de espacios públicos en ciudades del contexto mexicano y latinoamericano tienen el reto de considerar la persistencia del fenómeno de la desigualdad socioespacial, pues ello supone condiciones un tanto diferentes de los observados en países más desarrollados.

Un primer paso para poder enfrentar la desigualdad socioespacial es medirla para poder comprenderla. En este sentido, y alineado con los objetivos de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDATU-2021 Espacios públicos en los asentamientos humanos, es recomendable que las áreas técnicas de los gobiernos locales implementen diagnósticos precisos y sistemas de monitoreo que permitan identificar los EVP existentes, sus requerimientos de mantenimiento o mejoramiento y aquellas colonias donde es imprescindible crear nuevos EVP.

Por otro lado, la participación de la ciudadanía en torno a los bienes públicos enfrenta dificultades que no deben pasar inadvertidas, por lo que el diseño y la implementación de políticas públicas de gestión de EVP deben considerar la participación ineludible que tiene el Estado en sus diferentes niveles de gobierno y en sus respectivas competencias para ejercer medidas redistributivas que coadyuven a mitigar las crecientes desigualdades. En este sentido, el mejoramiento y la creación de EVP no puede basarse únicamente en atender de forma reactiva las demandas de los ciudadanos, pues se requiere un

enfoque preventivo y propositivo que priorice la atención de las poblaciones más necesitadas.

REFERENCIAS

- Aceves, J., De la Torre, R. y Safa, P. (2004). Fragmentos urbanos de una misma ciudad: Guadalajara. *Espiral Estudios sobre Estado y sociedad*, 11(31), 277-320. Disponible en: <https://doi.org/10.32870/eees.v11i31.1566>
- Bendimo-Rung, A. L., Mowen, A. J. y Cohen, D. A. (2005). The Significance of Parks to Physical Activity and Public Health: A Conceptual Model. *American Journal of Preventive Medicine*, 28(2), 159-168. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2004.10.024>
- Bengochea, A. (2003). A Hedonic Valuation of Urban Green Areas. *Landscape and Urban Planning*, 66(1), 35-41. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(03\)00093-8](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(03)00093-8)
- Borja, J. (2000). Ciudadanía y espacio público. En D. Jiménez (Ed.), *Laberintos urbanos en América Latina* (pp. 9-34). Abya-Yala. Disponible en: https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1163&context=abya_yala
- Bourdin, A. (2007). *L'action publique de proximité dans la métropole des individus*.
- Carmona, M. (2010). Contemporary Public Space: Critique and Classification, Part one: Critique. *Journal of Urban Design*, 15(1), 123-148. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/13574800903435651>
- Cohen, D. A., McKenzie, T. L., Sehgal, A., Williamson, S., Golinelli, D. y Lurie, N. (2007). Contribution of Public Parks to Physical Activity. *American Journal of Public Health*, 97(3), 509-514. Disponible en: <https://doi.org/10.2105/AJPH.2005.072447>
- Cruz-Sandoval, M., Ortego, M. I., y Roca, E. (2020). Tree Ecosystem Services, for Everyone? A Compositional Analysis Approach to Assess the Distribution of Urban Trees as an Indicator of Environmental Justice. *Sustainability (Switzerland)*, 12(3). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su12031215>
- Fausto-Brito, A. (2015). De asentamientos informales a colonias populares consolidadas. En E. R. Jiménez-Huerta y H. Cruz-Solís (Ed.), *Colonias populares consolidadas del área metropolitana de*

- Guadalajara. Retos y oportunidades (pp. 44-71). Universidad de Guadalajara. Disponible en: http://cucea.udg.mx/include/publicaciones/coorinv/pdf/Colonias_populares_x1a_color.pdf
- Fernández-Álvarez, R. (2017). Inequitable Distribution of Green Public Space in the Mexico City: An Environmental Injustice Case. *Economía, Sociedad y Territorio*, XVII(54), 399-428. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/111/11150592006.pdf>
- Garrocho, C. F., y Campos Alanís, J. (2006). Un indicador de accesibilidad a unidades de servicio clave para ciudades mexicanas: fundamentos, diseño y aplicación. *Economía Sociedad y Territorio*, VI(22), 349-97.
- Gehl, J. (2014). *Ciudades para la gente*. Infinito.
- Gilbert, A. (1994). *The Latin American City*. LAB.
- Goodsell, C. T. (2003). The Concept of Public Space and its Democratic Manifestations. *American Review of Public Administration*, 33(4), 361-383. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0275074003254469>
- Disponible en: Gottsbacher, M. y Erazo, J. (2016). Introducción. En Carrión, F. y Erazo, J. (Coord.), *El derecho a la ciudad en América Latina. Visiones desde la política* (pm. 9-20). Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: https://www.puec.unam.mx/pdf/libros_digitales/el_derecho_a_la_ciudad_digital.pdf
- Guadalajara entrega el cuarto “parque de bolsillo” (2010, 17 de junio). *El Informador*. Disponible en: <https://www.informador.mx/Jalisco/Guadalajara-entrega-el-cuarto-parque-de-bolsillo-20100617-0068.html>
- Guillén, A., Sáenz, K., Mohammad, B y Castillo, J. (2009). Origen, espacio y niveles de participación ciudadana. *International Journal of Good Conscience IV* (1), 179-93. Disponible en: <http://www.spentamexico.org/v4-n1/4%281%29%20179-193.pdf>
- Hardin, G. (1968). *The Tragedy of the Commons*.
- Hoehner, C. M., Brennan Ramirez, L. K., Elliott, M. B., Handy, S. L. y Brownson, R. C. (2005). Perceived and Objective Environmental Measures and Physical Activity among Urban Adults. *American Journal of Preventive Medicine*, 28(2), 105-116. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2004.10.023>
- Jacobs, J. (1961). *The Death and Life of Great American Cities*.
- Kuo, F. E., Sullivan, W. C., Coley, R. L. y Brunson, L. (1998). Fertile Ground for Community: Inner-city Neighborhood Common Spaces. *American Journal of Community Psychology*, 26(6), 823-851. Disponible en: <https://doi.org/10.1023/A:1022294028903>
- Kweon, B. S., Sullivan, W. C. y Wiley, A. R. (1998). Green Common Spaces and the Social Integration of Inner-city Older Adults. *Environment and Behavior*, 30(6), 832-858. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/001391659803000605>
- Ley General de Asentamientos Humanos (2016, noviembre 28). *Diario Oficial de la Federación*. México. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGAHOTDU_011220.pdf
- Low, S. y Smith, N. (2006.). *The Politics of Public Space*. Routledge.
- Ma, B., Zhou, T., Lei, S., Wen, Y. y Htun, T. T. (2019). Effects of Urban Green Spaces on Residents Wellbeing. *Environment, Development and Sustainability*, 21(6), 2793-2809. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0161-8>
- Martí, M., Blanco, I. y Parés, M. (2011). *Regeneración urbana y gobernanza*. 27-52.
- Mitchell, D. (2003). *The Right to the City: Social Justice and the Fight for Public Space*. Guildford Press.
- Muñoz Reséndiz, M. Q. (2014). *Accesibilidad a las áreas verdes urbanas como espacios públicos. El caso de Ciudad Juárez, Chihuahua* [Tesis de maestría, El Colegio de la Frontera Norte]. Disponible en: <https://www.colef.mx/posgrado/wp-content/uploads/2015/02/TESIS-Mu%C3%B1oz-Resendiz-Mara-Quetzalli.pdf>
- Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-001-SEDA-TU-2021, Espacios públicos en los asentamientos humanos (2022, febrero 22). *Diario Oficial de la Federación*. México. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5643417&fecha=22/02/2022#gsc.tab=0
- Nowak, D., Dwyer, J. F. y Childs, G. (1997). Los beneficios y costos del enverdecimiento urbano. En Krishnamurthy, L. y Nascimento, J. R. (Ed.). *Áreas verdes urbanas en Latinoamérica y el Caribe*. 17-38.
- Organización de las Naciones Unidas (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>

- (2017). *Nueva Agenda Urbana*. <https://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-Spanish.pdf>
- Pradilla E., (2016) Las transformaciones de los conflictos y los movimientos sociales en las ciudades latinoamericanas. En Carrión, F. y Erazo, J. (Coord.), *El derecho a la ciudad en América Latina*. Visiones desde la política (pp. 157-172). UNAM, México. Disponible en: https://www.puec.unam.mx/pdf/libros_digitales/el_derecho_a_la_ciudad_digital.pdf
- Ramírez Kuri, P. (2007). La ciudad, espacio de construcción de ciudadanía. *Enfoques: Ciencias Políticas y Administración Pública*, (7), 85-107.
- Ramírez Kuri, P. (2015). Espacio público, ¿espacio de todos? Reflexiones desde la ciudad de México. *Revista Mexicana de Sociología*, 77(1), 7-36. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rms/v77n1/v77n1a1.pdf>
- Remme, R. P., Frumkin, H., Guerry, A. D., King, A. C., Mandle, L., Sarabu, C., Bratman, G. N., Giles-Corti, B., Hamel, P., Han, B., Hicks, J. L., James, P., Lawler, J. J., Lindahl, T., Liu, H., Lu, Y., Oosterbroek, B., Paudel, B., Sallis, J. F., ... y Daily, G. C. (2021). An ecosystem Service Perspective on Urban Nature, Physical Activity, and Health. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(22), Disponible en: <https://doi.org/10.1073/pnas.2018472118>
- Reyes Plata, J. y Bolea, C. G. (2018). Distribución de las áreas verdes, índice de marginación y justicia ambiental en León, Guanajuato. En Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional (Ed.), *Desarrollo Regional Sustentable y Turismo* (pp. 177-203). Disponible en: <http://ru.iiiec.unam.mx/3781/>
- Ruiz Velazco Castañeda, A. H. (2005). Desigualdad socioespacial y segregación en Guadalajara. *Geocalli*, 6(12).
- Soja, E. W. (2010). *Seeking Spatial Justice*. University of Minnesota Press.
- Subirats, J. (2016) Políticas urbanas e innovación social. Entre la coproducción y la nueva institucionalidad. En Carrión, F. y Erazo, J. (Coord.), *El derecho a la ciudad en América Latina. Visiones desde la política* (pp. 49-71). UNAM, México. Disponible en: https://www.puec.unam.mx/pdf/libros_digitales/el_derecho_a_la_ciudad_digital.pdf
- Webster, C. (2007). Property Rights, Public Space, and Urban Design. *Town Planning Review*, 78(1), 80-101. Disponible en: <https://doi.org/10.3828/tpr.78.1.6>
- White, M. P., Pahl, S., Wheeler, B. W., Depledge, M. H. y Fleming, L. E. (2017). Natural Environments and Subjective Wellbeing: Different Types of Exposure are Associated with Different Aspects of Wellbeing. *Health and Place*, 45(01). 77-84. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2017.03.008>

Análisis de movilidad laboral y estudiantil en la Zona Metropolitana de Toluca

Analysis of labor and student mobility in the metropolitan area of Toluca

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i17.282>

ISRAEL VÁZQUEZ MORÁN*

Universidad Autónoma del Estado de México, México. ORCID: 0009-0007-0984-6837

Correo electrónico: ivazquezm658@alumno.uaemex.mx

*Autor de correspondencia

EDUARDO JIMÉNEZ LÓPEZ

Universidad Autónoma del Estado de México, México. ORCID: 0000-0002-1883-3890

Correo electrónico: ejimenezl@uamex.mx

SALVADOR ADAME MARTÍNEZ

Universidad Autónoma del Estado de México, México. ORCID: 0000-0002-4499-009

Correo electrónico: sadamem@uaemex.mx

Recepción: 18 de enero de 2024 Aceptación: 30 de octubre de 2024

RESUMEN

El objetivo de la investigación es explicar los patrones de movilidad cotidiana (o *commuting*), conformados por las características de la movilidad laboral y estudiantil en la Zona Metropolitana de Toluca y los municipios que integran la región Centro de México, correspondientes a las entidades Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla, Querétaro, Tlaxcala y Ciudad de México. Para ello se propone una metodología que permita cuantificar de manera clara y sencilla este comportamiento, replicable en las distintas zonas metropolitanas de nuestro país. En relación con los resultados obtenidos, se distingue una mayor cantidad de movimientos de atracción comparados con los de salida de población, lo que hace evidente la necesidad de políticas públicas en materia de educación y empleo, orientadas en una mejora en su accesibilidad.

Palabras clave: movilidad laboral, movilidad estudiantil, Zona Metropolitana de Toluca, accesibilidad, políticas públicas

ABSTRACT

The objective of the research is to explain the patterns of daily mobility or commuting, shaped by the characteristics of labor and student mobility in the Metropolitan Area of Toluca and the municipalities that make up the Central Region of Mexico, corresponding to the entities of: Hidalgo, State of Mexico, Morelos, Puebla, Queretaro, Tlaxcala and Mexico City. For this purpose, a methodology is proposed that allows us to quantify this behavior in a clear and simple manner, replicable in the different metropolitan areas of our country. In relation to the results obtained, a greater number of movements of attraction compared to those of population outflows can be distinguished, making evident the need for public policies on education and employment, aimed at improving their accessibility.

Keywords: labor mobility, student mobility, Zona Metropolitana de Toluca, accessibility, public policies

Introducción

El objetivo de este trabajo es explicar los patrones de movilidad laboral y estudiantil en la Zona Metropolitana de Toluca y los municipios que conforman la región Centro de México correspondientes a las entidades Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla, Querétaro, Tlaxcala y Ciudad de México. Los desplazamientos para trabajar o estudiar en una zona determinada se han vuelto cada vez más relevantes en las sociedades (Lehmer y Ludsteck, 2011). Se observa en la zona de estudio un proceso de descentralización urbana y concentración espacial de las actividades económicas. Este cambio puede explicarse por la pérdida de trabajos destinados a la industria en el lugar de origen, el uso del automóvil y la reubicación de los lugares de trabajo hacia áreas con más oportunidades de crecimiento, con esto las personas responden a los incentivos y oportunidades monetarios que propician el movimiento de un lugar a otro (Bergantino y Madio, 2019).

El aumento de las distancias de desplazamiento es el resultado de un proceso de búsqueda de salarios más altos (Sandow y Westin, 2010). La especialización de la fuerza de trabajo da lugar a mercados laborales que ofrecen pocos puestos de trabajo potenciales dentro de una zona que anteriormente cubría sus necesidades laborales. Por lo tanto, el impacto del mercado laboral en el comportamiento de los desplazamientos se relaciona con las habilidades de los trabajadores y sus distintas ocupaciones. Con una relación directa entre los niveles de educación, el aumento de la movilidad y las distancias de desplazamiento (Prashker, Shiftan y HersHKovitch-Sarusi, 2008; Sandow y Westin, 2010; Vega Kilgarrieff, O'Donoghue y Morrissey, 2017; Parenti y Tealdi, 2019).

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) del tercer trimestre de 2015, sobre las características ocupacionales de la población de quince años y más, se observa que la mayoría de la población ocupada cuenta con un nivel de ingreso de más de uno hasta dos salarios mínimos, con una representación del 29.6%; en relación con la duración de la jornada laboral, el 50.8% tiene una jornada laboral entre

35 a 48 horas; respecto del nivel de instrucción, la mayoría se encuentra con secundaria completa, con el 36.5%, y desempeña actividades laborales en el sector terciario, con una representación del 57.5% (INEGI, 2015).

Los desplazamientos pueden surgir entre diferentes mercados laborales como consecuencia de decisiones estratégicas que equilibran la vivienda familiar y los costes de vida. Estas decisiones también tienen en cuenta los costes monetarios y no monetarios de los desplazamientos, que implican estos últimos efectos negativos sobre la salud, la calidad de vida y el tiempo perdido (Vega *et al.*, 2017). Tales dimensiones se han descuidado en el estudio acerca de los desplazamientos por motivos de trabajo. Las oportunidades laborales pueden inducir a las personas a trasladarse a otros lugares en lugar de trabajar en un lugar cerca de la vivienda familiar. La mayoría de los análisis sobre los desplazamientos al trabajo se han centrado principalmente en su relación con el sector laboral como suministro (Gimenez-Nadal y Molina, 2014; Gutiérrez-i Puigarnau y van Ommeren, 2009; Gutiérrez-i Puigarnau, Mulalic y van Ommeren, 2016), la salud psicológica (Dickerson, Hole y Munford, 2014; Künn-Nelen, 2016; Oliveira, Moura, Viana, Tigre y Sampaio, 2015), la productividad (Goerke y Lorenz, 2017; Gutiérrez-i Puigarnau y van Ommeren, 2009), la clasificación residencial y la propiedad de vivienda (Clark, Huang y Withers 2003; Plaut, 2006).

Este trabajo ayuda a mostrar la relación entre ingreso laboral y desplazamientos para ir a trabajar. Puede haber factores no observados que afecten tanto a las decisiones sobre los desplazamientos como a las ganancias, lo que da como resultado efectos causales. Seguir la trayectoria de los individuos en el espacio es fundamental para controlar cambios exógenos en los patrones de desplazamiento o en el nivel de ingresos (Gutiérrez-i Puigarnau *et al.*, 2016; Bergantino y Madio, 2019).

Las movilidades de la población en las fronteras de un territorio son propiciadas por actividades económicas y sociales en una determinada conurbación, zona metropolitana o región. Los mercados de trabajo y de vivienda se vuelven

más accesibles a una escala de conurbación; las distancias de viaje se amplían, no solo con fines de trabajo, sino también para fines recreativos, de compras, entre muchas otras causas (Wheeler, 2009; Aguilar y Hernández-Lozano, 2018). Estos movimientos deben tener mayor infraestructura de transporte, a la vez que se incrementan los viajes en vehículos privados, debido a la dispersión de actividades, las cuales constituyen nuevos destinos. Un gran número de trabajadores se desplaza diariamente entre ciudades, sobre todo en el centro de México, por la cercanía relativa entre dos grandes ciudades, como Toluca y la Ciudad de México; también es una gran oportunidad para que la población cambie su lugar de residencia. Con esto se puede decir que la movilidad temporal de las personas cambia de nombre por migración (Aguilar y Hernández-Lozano, 2018; Galindo, Pérez y Suárez, 2020).

Por otro lado, la movilidad involucra dimensiones variadas de comportamiento, tanto en el tiempo que se invierte en el propósito, como en el tipo de trayectoria y el ámbito de alcance, entre otras variantes, además de que se proporcionan varios conceptos de movilidad, en las que se destacan las actividades destinadas a salvar las distancias en un determinado intervalo de tiempo, aquellas que consideran la movilidad como el conjunto de desplazamientos de personas en el territorio, entendiendo esto último como *movilidad cotidiana*, concebida como la que se genera por motivos laborales, de estudio, de consumo y de acceso a servicios. En contraparte con la movilidad motivada por el desplazamiento libre de la población (Sobrino, 2012; Olivera-Lozano y Galindo-Pérez, 2013).

Se distinguen distintos conceptos sobre movimiento cotidiano, que es similar a decir un término en inglés *conmuting* (Graizbord, 2008; Pazos y Alonso, 2009). Un elemento que parece sencillo incorporar es la temporalidad. En este trabajo definimos los movimientos cotidianos como movilidad temporal, que son los desplazamientos que realizan los habitantes de un área metropolitana desde su lugar de residencia hasta el lugar de trabajo o estudio en un lapso medible.

Los comportamientos actuales de los desplazamientos se caracterizan por los movimientos de población, su gran heterogeneidad y complejidad. Distinguiendo que los patrones de movilidad se superponen, yuxtaponen y articulan desde lugares de salida unido con el tránsito y de temporalidades diversas. La movilidad humana en forma espacial es tan antigua como la humanidad misma, de tal manera que no se puede entender el cambio social sin la movilidad espacial, de aquí radica su importancia (Smith y Guarnizo, 2009, Granados-Alcantar y Franco-Sánchez, 2017).

Algunos trabajos han evaluado la relación entre los desplazamientos y los salarios, y han encontrado que, a mayor ingreso, el pago es asociado con una mayor probabilidad de desplazamiento por un tiempo superior de 60 minutos (McQuaid y Chen, 2012; Bergantino y Madio, 2019). Los altos salarios pueden atraer tanto a los residentes como a los viajeros y, en los viajes más largos, el tiempo afecta negativamente el incentivo para viajar. Al introducir diferentes umbrales en los ingresos, se observó que los salarios no impactan en el tiempo de desplazamiento, solo en la distancia (Sandow y Westin, 2010). Además, muestran que las diferencias regionales de ingresos contribuyen a explicar la movilidad en determinada región con marcadas diferencias territoriales (Vazquez, 2016; Roberts y Taylor, 2016).

Respecto de la organización de la ciudad, Camagni (2005) señala cinco grandes principios, que se encuentran relacionados con algunos modelos históricos de la economía urbana, y permiten comprender la naturaleza, la estructura y las leyes de movimiento de la ciudad. Estos son: 1. Principio de aglomeración o de sinergia, el cual responde a la pregunta “¿por qué existe la ciudad?”. 2. Principio de accesibilidad o de competencia espacial, que investiga sobre las formas en las que se localizan las diversas actividades, residenciales y productivas, que compiten por el espacio urbano. 3. Principio de interacción espacial o de la demanda de movilidad y de contactos, que se pregunta sobre las relaciones que se establecen entre las distintas partes de la ciudad y sus actividades. 4. Principio de jerarquía o de orden

de las ciudades, que investiga sobre las leyes de organización del espacio urbano, tanto en la dimensión como en la localización de los distintos centros. 5. Principio de competitividad o de la base de exportación, que muestra las condiciones y las modalidades de desarrollo de las ciudades.

Para ello partimos de la concepción de “ciudad”, misma para esta investigación abordamos su definición desde el enfoque sistémico; concebida como aquella que “constituye el polo de un sistema de relaciones que afectan al espacio global, como un sistema complejo de relaciones internas ente los elementos o partes individuales, que constituyen tanto las leyes de su funcionamiento y características estructurales” (Camagni, 2005, p. 13).

Así como es abordada desde una perspectiva de un espacio relacional, donde la “ciudad” se presenta como un lugar privilegiado en tres importantes acepciones: 1. Espacio de localización de actividades específicas. 2. Espacio de control sobre la división del trabajo social. 3. Espacio sobre la distribución de la renta (Camagni, 2005).

Además, como señala Manríquez (2022), las principales razones que favorecen la concentración tanto de las actividades económicas como las de inversión son: 1. Acceso al mercado de trabajo y capital humano. 2. Factores intermedios. 3. Flujos de conocimiento y tecnología. Dando pauta a las economías de aglomeración que explican la localización espacial de los distintos servicios.

El proceso de economías de aglomeración afecta indirectamente a las actividades productivas inmersas en la ciudad, como las educativas, los servicios públicos o privados, el transporte y todos sus componentes conexos. Sin embargo, también ocasionan efectos negativos, llamándolos costes decrecientes en las áreas de aglomeración, afectando tanto a los desplazamientos de sus habitantes, factores escasos como tierra o suelo y mano de obra, como a los relacionados con el transporte (Pichardo-Muñoz y Otaña, 2012).

En otras palabras, para el caso de la Zona Metropolitana que conforma Toluca capital, experimenta una fuerza centrípeta que no es común al resto del país. Este hallazgo puede explicarse

parcialmente en términos de oportunidades y salarios (i.e. salarios más altos en grandes áreas metropolitanas), pero también de eficiencia del transporte y de la compensación entre la vivienda y los costos de vida.

Este trabajo muestra la magnitud de los desplazamientos en la distribución espacial con el factor de los ingresos laborales en la región. La movilidad que conforma la ciudad de Toluca sugiere que el aumento del empleos profesionales y puestos gerenciales en la Ciudad de México ha llevado a salarios más altos en estas áreas, particularmente en la región que conforma Toluca-Ciudad de México (Salazar y Sobrino, 2010). Los costos totales de desplazamiento, que son la suma de los costos monetarios y de tiempo, pueden ser bastante sustanciales. Para el trabajador con una jornada laboral de ocho horas y un viaje de ida de 60 minutos, el total de se estima que los costos son aproximadamente el 21% del salario diario. Cerca del 70% de estos costos se debe a costos de tiempo, y alrededor del 30% a un costo monetario (Rouwendal y Van Ommeren, 2007; Vazquez, 2016).

La ciudad es sinónimo de destino laboral, dotación de bienes y servicios para sus habitantes. Se pueden tomar mayor número de orígenes-distancias que atrae población de otros lugares, con esto se hace referencia a ciudades dinámicas que presentan interacciones abiertas, con desconcentración y descentralización de su población. En cuanto a las relaciones funcionales entre ciudades, estas pueden cambiar de vertical (i.e. jerárquica y dependiente) a horizontal, las que dejan de ser dependientes y avanzan a relaciones de complementariedad entre ciudades de orígenes y destino (Suárez y Delgado, 2010; Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL] y Naciones Unidas [UN], 2012).

Debido a la actual descentralización de la población, el funcionamiento integrador de las estructuras territoriales muestra una difusión espacial en el territorio. Estas han ganado importancia analítica en las últimas décadas por los cambios observados en los últimos años. Asimismo, un elemento a resaltar de esta dinámica es el análi-

sis *commuting*, que se utiliza para comprender la actual movilidad de las ciudades y para tratar de complementar los estudios de estas (Graizbord y Santillán, 2005; Vazquez, 2016).

La unión de las actividades económicas por efectos de atracción y factores de la producción propicia una creciente concentración de actividades económicas. Al mismo tiempo, la concentración y la desconcentración se inician con la suburbanización y la dispersión de la población, lo cual amplía el ámbito funcional de las zonas urbanas. Los dos procesos, la concentración espacial de la economía y distribución de población de cierto tamaño, se explican teóricamente por la presencia de ciclos de tiempo en los sistemas urbanos nacionales. Las etapas del crecimiento metropolitano y la transformación de la región urbana nos llevan a proponer políticas económicas y urbanas (Garrocho, 2003).

Partiendo del análisis de la movilidad en la región Centro, se cuenta con el antecedente de la Zona Metropolitana del Valle de México, donde el promedio de tiempo de traslado para trabajo es de 57 minutos, y para estudio de 33 minutos, y se destaca que la población invierte más tiempo en regresar a su hogar (INEGI, 2017). Sobresale el aumento en el tiempo de recorrido, así como la condición de si se encuentra en municipios conurbados. Sin embargo, los desplazamientos en esta región no se perciben negativamente por la población, sino como una práctica común, debido a las oportunidades de trabajo bien remunerado en ciudades diferentes a las de origen (Alcántara de Vasconcellos, 2010).

Para avanzar en la identificación de la descentralización urbana y la organización espacial de las actividades económicas, corresponde examinar las relaciones interurbanas dentro de cada región de estudio. Se acude a dimensionar la movilidad laboral y estudiantil, para con ello identificar patrones de relaciones entre los distintos centros de población, toda vez que los movimientos que se realizan entre las ciudades configuran la funcionalidad de la estructura territorial de estas (Suárez y Delgado, 2010; Lois, Moriano y Rondinella, 2015).

Las diferencias de las relaciones que se registran están asociadas a las condiciones de la comunicación terrestre, al grado de descentralización o difusión de las actividades económicas entre las ciudades, y al dinamismo económico de estas que establecen las condiciones del desarrollo territorial. Por tanto, el estudio de movilidad temporal es un indicador explícito del funcionamiento de la estructura territorial que revela relaciones desconcentradas o descentralizadas entre los asentamientos en el territorio (Graizbord y Molinatti, 1998; Garrocho, Jiménez, Álvarez y Consejo Nacional de Población, 2014b).

Sobre la estrategia de presentación de análisis, el resto del texto se divide en cuatro secciones. En la primera sección se hace una revisión de la teoría y de los principales aportes que intervienen en la movilidad temporal. La segunda sección se enfoca en explicar la estrategia metodológica para caracterizar la movilidad temporal. En la tercera sección presentamos los resultados del análisis en dos escalas de análisis: la primera en relación con la interacción de la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT), con las entidades que conforman la región Centro, y la segunda escala de análisis es respecto de la ZMT con los municipios que integran la región Centro. En la última sección sintetizamos los principales hallazgos y aportaciones del trabajo.

ANÁLISIS DE MOVILIDAD TEMPORAL

Los factores que determinan la movilidad temporal son una forma de entender los desplazamientos de la población laboral y estudiantil. Este concepto es asociado a las dinámicas actuales de los procesos de globalización, de la formación o la identificación de las distintas estructuras territoriales asociadas al tiempo en el cual se realiza el desplazamiento. También es asociada a la identificación de cambios en el territorio, sea una reestructuración en este, sea en las actividades económicas y educativas en una región (Graizbord y Molinatti, 1998; Acuña y Graizbord, 1999; Molina-García, Castillo y Sallis, 2010).

El nivel educativo es un factor clave que se asocia a los desplazamientos; los trabajadores con educación superior son quienes realizan viajes más largos (Groot, De Groot y Veneri, 2012; Parenti y Tealdi, 2019). Se considera que estos individuos con un alto nivel de educación son más eficientes en la recopilación de información y tienen un mayor conocimiento de las oportunidades alternativas (Van Ham, Mulder y Hooimeijer, 2001; O'Brien, 2011), lo que en economía se relaciona con los costes de transacción.¹ También es menos probable que los trabajadores con mayor nivel educativo cambien de trabajo; si lo hacen, es más probable que acepten un trabajo con una distancia mayor con respecto al lugar donde viven (Van Ham y Hooimeijer, 2009; Lundholm, 2010).

La ubicación de los trabajos que requieren altos niveles de educación es importante, ya que estos están más concentrados espacialmente en un número limitado de ubicaciones que los trabajos que requieren un bajo nivel de educación; por lo tanto, se esperan viajes más largos para los trabajadores (Börsch-Supan, 1990; Mulder y Kalmijn, 2006) más calificados. Los trabajadores altamente calificados tienen más poder de negociación, mientras que los trabajadores ganan salarios competitivos (Simpson, 1992). Esto es similar en diferentes lugares: los trabajadores poco calificados maximizan su utilidad al elegir un trabajo lo más cerca posible del lugar donde viven. En La región Toluca- Ciudad de México también hay evidencia de que la educación es una variable altamente significativa de los patrones de desplazamiento de las mujeres: las mujeres con bajo nivel educativo viajan distancias más cortas, mientras que aquellas con calificaciones educativas más altas viajan distancias más largas (Cristaldi, 2005; Torrado, Romaní y Susino, 2018).

El régimen de propiedad es crucial para realiar movilidad temporal. El propietario de una vivienda tiende a realizar más viajes para trabajar que quienes alquilan un lugar para vivir, ya que se niegan a desprenderse de un lugar donde es de su propiedad sin importar que su trabajo se encuentre en otra región o lugar más alejado (Kantor,

Nijkamp y Rouwendal, 2012). La movilidad temporal relacionada con el trabajo trae consigo altos costos monetarios y no monetarios (Helderman, Mulder y Van Ham, 2004). Sin duda, es más fácil para los inquilinos reducir su distancia de viaje al cambiar su residencia a una más cercana a su lugar de trabajo (Michielin y Mulder, 2008).

Las movilidades presentan aspectos positivos y negativos que influyen fuertemente en la calidad de vida del individuo. El moverse de un lugar a otro puede provocar problemas de salud, exposición a la delincuencia y aislamiento social (Gatersleben y Uzzel, 2007; Snellman, Silva, Frederick y Putnam, 2015). Se requiere energía física y mental, que puede generar estrés y puede reducir la calidad vida, lo que se puede extenderse a la vida en familia (Stutzer y Frey, 2008; Roberts, Hodgson y Dolan, 2011), además de los costes económicos que implica esta actividad (Pichardo-Muñoz y Otoya, 2012). Las movilidades también significan mayores ingresos, oportunidades en lugares con un ambiente más sofisticado y posibilidad de desarrollar nuevas relaciones sociales (Nuvolati, 2007; Kariv y Kirschenbaum, 2007).

Con relación a las consecuencias negativas, además de lo anteriormente señalado, la movilidad puede generar lo que algunos autores indican como una afección de las ciudades: es el estrés urbano generando problemas a los habitantes de la ciudad en el ámbito de la salud física y psicológica; este es un factor amenazante en las condiciones de bienestar (Valadez, Bravo y Vaquero, 2019).

La movilidad se puede entender de diferentes formas: algunos la definen como un mecanismo regulador económico y social. Sin embargo, respecto de su comportamiento actual, es un recurso en los territorios, grupos, familias e individuos, aunque su acceso sea desigual, ya que intervienen factores económicos y sociales que son condicionan por ellos mismos (Granados-Alcantar y Franco-Sánchez, 2017).

Existen desplazamientos muy lejanos debidos a que los lugares de origen no satisfacen las necesidades de empleo o educación. Por lo tanto, al hablar de justicia espacial, se debe plantear la idea de la adquisición de un bien o servicio,

1. Se recomienda revisar el Teorema de Coase.

observando cuánto gastan, tiempos de traslado, el impacto que tiene la distancia con la cantidad de desplazamientos. Por tal motivo, se realiza el estudio de caso con las variables de distancia mínima y máxima observada en el centroide de la región, la llamada fricción de la distancia (i.e. que es más justo o injusto con relación a la distancia recorrida). Con lo anterior se busca realizar una aportación a las políticas públicas para la toma de decisiones en aspectos de desarrollo de infraestructura y en la sustentabilidad urbana (Garrocho, Aguilar, Brambila, Graizbord y Sobrino, 2014a; Campos-Vargas, Toscana-Aparicio y Campos Alanís, 2015).

MOVILIDAD TEMPORAL EN LA REGIÓN

CÁLCULO DE LA MOVILIDAD

Presentamos una metodología simple que proporciona una base para explicar los mecanismos de movilidad temporal laboral y estudiantil. Las variables que introducimos son el tiempo de traslado y los costos de desplazamiento. Específicamente, un individuo que suministra un gasto para ir trabajar significa un costo de desplazamiento se representa por $E(z)E(z)$, donde z es la distancia de la movilidad. El tiempo de desplazamiento es $\tau_n(z)\tau_n(z)$ o $\tau_s(z)\tau_s(z)$, dependiendo de la ubicación actual del trabajo. Se toma como centro en la ubicación actual n y s el destino.

Además, se agrega una función de probabilidad de trabajar en la región ss . Se dice que son las expectativas sobre la ubicación de su trabajo en función de la probabilidad en un tiempo aproximado de ser empleado en la región ss , denotada por $\alpha\alpha$, siendo $(1 - \alpha)(1 - \alpha)$ para el destino.

$$E(z) = \tau_n(z) + \beta[(1 - \alpha)\tau_n(z) + \alpha\tau_s(z)] \quad (1)$$

Donde $\beta\beta$ es un factor de subsidio proporcionado principalmente para los trabajadores especializados que realizan la movilidad temporal en la región. El análisis de movilidad intraurbana

está limitado por las unidades espaciales de agregación de datos. Con esto se propone una ecuación de desplazamiento por cada individuo que se moviliza de una ciudad a otra, agregando gasto de desplazamiento $(E(z)E(z))$, distancia recorrida $(z)(z)$ y tiempo de traslado $(\tau(z))(\tau(z))$.

$$\frac{\rightarrow}{\Delta r} = \sum \frac{z_i p_i}{E(z)\tau(z)} \quad (2)$$

Donde $\frac{\rightarrow}{\Delta r}$ es la función de movilidad temporal que es vectorial, determinada por el desplazamiento de cada individuo $p_i p_i$. Se abre la discusión de que se utiliza la red de transporte y no el carro por persona, ya que disminuye considerablemente el tiempo.

Haciéndose operativo para el caso de la movilidad laboral y estudiantil mediante el siguiente procedimiento, resaltando que el principal insumo para su construcción fueron los microdatos de la Encuesta Intercensal 2015 del INEGI, de cada una de las entidades federativas que integran la zona de estudio, además de que la información se procesó mediante el uso de SPSS 23 y Excel; para el caso de la representación espacial se utilizó ArcGis 10.6. El procedimiento fue el siguiente:

- La dimensión de movilidad laboral se construyó con la respuesta a la pregunta “¿En qué estado o país está el negocio, empresa o lugar donde trabajó (NOMBRE) la semana pasada? (ENT_PAIS_TRAB)” con “Nombre del municipio de trabajo (NOM_MUN_TRAB)”, sumando ambas respuestas para obtener los movimientos de la población laboral.
- La dimensión de movilidad estudiantil se construyó con la respuesta de la pregunta “¿En qué estado o país está la escuela donde estudia (NOMBRE)? (ENT_PAIS_ASI)”, más la pregunta “Nombre del Municipio de asistencia escolar (NOM_MUN_ASI)”, ambas preguntas permiten conocer los desplazamientos de la población estudiantil.
- Delimitación de los movimientos por zona de estudio (escala municipal y entidad federativa): para la definición de los movimientos realizados por motivos de trabajo o estudio

de manera puntual en la zona de estudio; se eliminaron para ambos casos los destinos no especificados, considerando solo aquellos movimientos de las entidades/municipios que integran la zona de estudio. Por tanto, se excluyen aquellos en dirección a otras entidades o municipios que no se encuentran dentro de la zona de estudio, como los movimientos internacionales.

- Matriz de entrada y salida (movilidad laboral-estudiantil): para obtener los valores absolutos de desplazamientos, se organizó una matriz de doble entrada, lo que permitió la cuantificación de los desplazamientos existentes de un municipio a otro; con ello se distingue tanto la fuerza de trabajo y estudio que es atraída —entradas— y es expulsada —salidas— por motivos de trabajo o estudio.
- Movilidad total: una vez obtenidos los desplazamientos de población por motivos de trabajo/estudio, se sumaron ambos para obtener los desplazamientos totales, de salidas o de entradas, mediante la siguiente expresión:

$$MT = \Sigma PMT + \Sigma PME$$

Donde,

MT = Movilidad total del municipio o estado.

ΣPMT = Población total que se desplaza por motivos de trabajo dentro del municipio o estado.

ΣPME = Población total que se desplaza por motivos de estudio dentro del municipio o estado.

- Flujos de movilidad: para obtener los flujos o direcciones de movilidad se calculó el respectivo centroide de cada municipio o entidad; posteriormente, con sus coordenadas X e Y, se obtuvieron los orígenes y destinos de los desplazamientos como la distancia euclidiana entre los lugares de interacción.
- Representación espacial: para la representación de los resultados obtenidos se consideró el marco geoestadístico del año de análisis y las claves municipales, con la información estadística generada, para su vinculación para su correcta representación espacial de las interacciones o flujos.

En los siguientes apartados se presentan los resultados obtenidos de la metodología anteriormente descrita.

MOVILIDAD LABORAL

Tomando como punto de partida la movilidad laboral durante el año 2015 en la Zona Metropolitana de Toluca que se dirigen a otras entidades federativas cercanas. Se analizan las salidas de población de la zona metropolitana en busca de empleo dentro de la región (tabla 1 y figura 1).

Movilidad laboral de la Zona Metropolitana de Toluca
hacia las entidades federativas de la Región Centro, 2015

Entidad	Salidas				Entradas			
	Personas	Porcentaje	Municipios	Porcentaje	Personas	Porcentaje	Municipios	Porcentaje
Ciudad de México	14,155	39.5	16	12.8	7,604	12.8	16	4.9
Hidalgo	225	0.6	7	5.6	815	1.4	50	15.2
México	19,908	55.5	79	63.2	49,083	82.8	110	33.5
Morelos	426	1.2	8	6.4	519	0.9	30	9.1
Puebla	352	1.0	8	6.4	631	1.1	74	22.6
Querétaro	722	2.0	4	3.2	375	0.6	11	3.4
Tlaxcala	64	0.2	3	2.4	233	0.4	37	11.3
Total	35,852	100.0	125	100.0	59,260	100.0	328	100.0

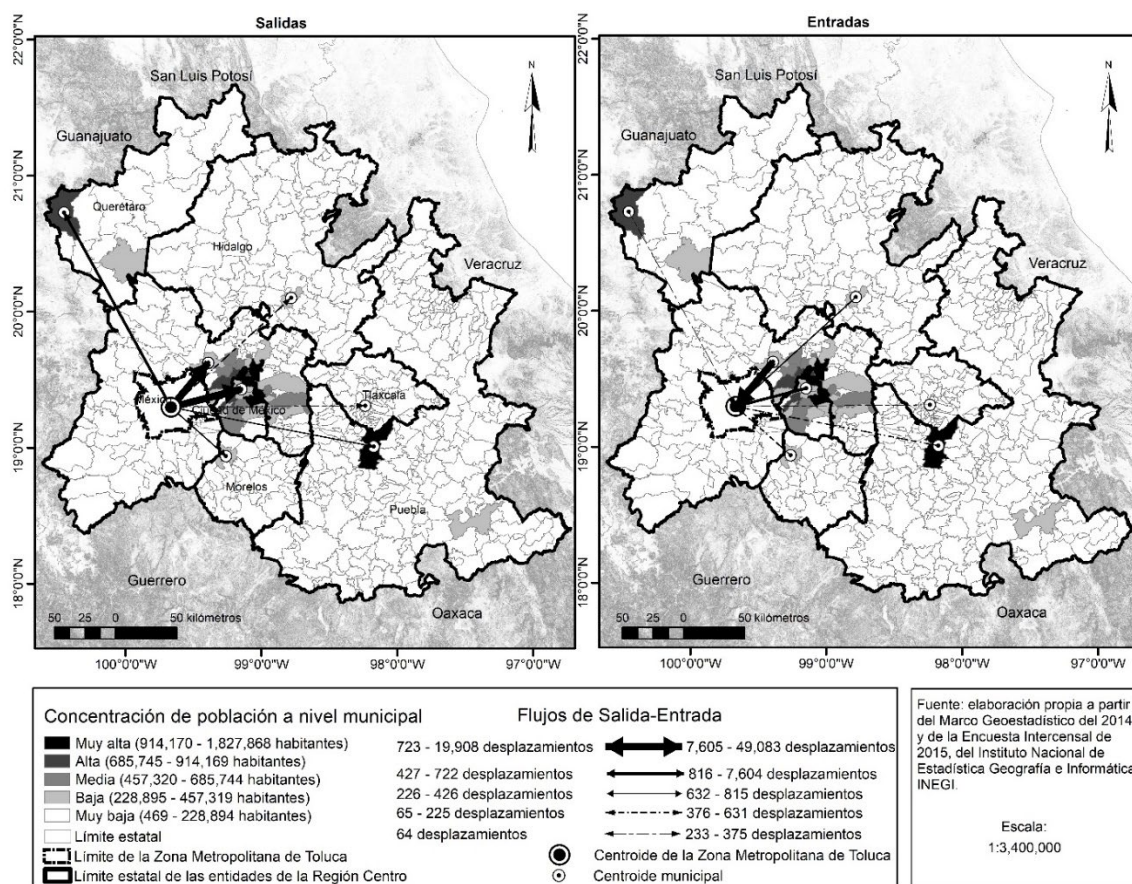
Fuente: Cálculos y elaboración propios basados en la Muestra Intercensal 2015 (INEGI, 2015).

Se observa que la Zona Metropolitana de Toluca tiene interacciones con las entidades que están al este y al norte de su posición geográfica. Las mayores interacciones se presentan dentro de la misma entidad donde se localiza Toluca registra un flujo de salida del 55.5 %, que representa el porcentaje de cada cien movimientos de la zona dentro de la entidad, seguido por la Ciudad de México cuyas salidas de trabajo hacia esta entidad representan el 39.5%. Las interacciones con

el resto de las entidades registran un número menor de atracción de población por motivos de trabajo, Querétaro registra 2%, Morelos 1.2%, Puebla 1%, Hidalgo 0.6% y Tlaxcala 0.2%. Se destaca que el muy bajo porcentaje de salida es significativo para determinar que Toluca funciona como una ciudad dormitorio para los trabajadores, y realiza movimientos internos y externos para satisfacer su demanda de empleo.

FIGURA 1

Movilidad laboral de la Zona Metropolitana de Toluca, 2015



Fuente: Elaboración propia basada en el INEGI (2015).

El patrón de entradas de la fuerza laboral de la zona metropolitana respecto de las entidades cercanas es del 82.8% del total (i.e. 82 entradas de cada cien desplazamientos), y tiene su destino en la ZMT, lo cual destaca su importancia en el estado. Seguida por la Ciudad de México, con el

4.9% de los arribos, lo cual destaca una integración funcional con la entidad. Después se distinguen dos entidades con una relativa atracción de fuerza de trabajo: Hidalgo, con 1.4%, y Puebla, con 1.1%; las otras entidades presentan una baja

atracción en general: Morelos, con 0.9%, Querétaro, con 0.6%, y Tlaxcala, con 0.4%.

En las relaciones existentes entre las entidades que integran la región Centro y la ZMT, generadas por los flujos de la movilidad laboral origen-destino, se distingue lo siguiente: las entidades federativas con mayor atracción de población proveniente de la ZMT son tanto el Estado de México (i.e. movimientos locales) como de la Ciudad de México, que en conjunto representan el 94.9% del total de las salidas de la ZMT. Se traslada población a 125 municipios de las entidades con un total de 35,852 desplazamientos. Respecto de la población que atrae, la ZMT presenta el mismo comportamiento, ya que tanto el Estado de México como Ciudad de México son los lugares de mayor atracción. Estos indicadores representan el 95% del total, en conjunto atrae población de 328 municipios y presenta un total de 59,260 desplazamientos. Asimismo, destaca un punto de equilibrio en algunas entidades tomando en consideración la movilidad laboral, ya que en proporción las salidas y entradas de población no varía la cantidad. Como puede observarse en el caso de Morelos y Puebla (figura 1).

Otro elemento para destacar es el análisis de la movilidad municipal y el comportamiento de la población que se desplaza por motivos de trabajo, como puede observarse en la figura 2. Se distinguen distintos grados de flujos, y se identifica el cambio de la configuración urbana y un proceso de descentralización urbana que distinguen los flujos de entrada/salida de una zona metropolitana. No obstante, puede observarse en los mapas de movilidad laboral que la ZMT es uno de los principales nodos de interacción o integración funcional con la región.

El comportamiento de los flujos de manera más particular, la ZMT en un primer momento expulsa población con dirección a municipios conurbados, en sentido noreste y sureste de la región, que va de una alta concentración de población a una muy baja concentración. Asimismo, las principales interacciones se dan con los municipios de Cuajimalpa de Morelos con 3,877 desplazamientos, Tianguistenco con 2,953 desplazamientos, Tenango del Valle con 2,186 des-

plazamientos, Naucalpan de Juárez con 2,145 desplazamientos y Álvaro Obregón con 2,145 desplazamientos, los que en conjunto atraen el 37% del total de salidas hacia otros municipios de la zona metropolitana, los cuales se pueden definir como interacciones de primer orden, así como una dependencia para cubrir sus requerimientos de empleo con la Zona Metropolitana del Valle de México (figura 2).

En la tabla 1 y en la figura 2 se muestra la concentración de población y la dirección de los desplazamientos. Se observan desplazamientos de población a municipios que presentan un alta, mediana, baja y muy baja concentración de población, en su mayoría con dirección noreste y sureste de la zona. Sin embargo, presenta una integración funcional con toda la región, ya que existe interacción con 125 municipios en su mayoría localizados en el Estado de México.

Otro elemento por resaltar son las distancias de desplazamiento, registra una distancia máxima de 240.6 km² con destino a el municipio de Tétéles de Ávila Castillo en Puebla y una mínima de 22.1 km con dirección a Atizapán de Zaragoza, en el Estado de México, lo cual indica grandes distancias que recorre la población proveniente de la ZMT por motivos de trabajo. Respecto de la población que es atraída a la ZMT, en un primer orden es población de municipios conurbados con una muy baja concentración de población. Las principales interacciones se presentan con los municipios de Tenango del Valle, con 5,646 desplazamientos, Villa Victoria, con 4,530 desplazamientos, e Ixtlahuaca, con 3,967 desplazamientos. En conjunto representan el 23.9% del total de población que es atraída proviene de estos tres municipios, que se encuentran conurbados a la ZMT en direcciones noroeste y sureste de la misma.

También se atrae población de aquellos municipios que se muestran en las otras categorías (figura 2). Las mayores atracciones de flujos provienen de las partes noroeste, norte, noreste y sureste de la región, como una mínima atracción de la parte

2. Se calcularon distancias euclidianas a partir del centroide la ZMT y de los municipios que integran la región Centro, para distinguir las distancias de desplazamiento por motivos de trabajo o estudiantiles.

suroeste. Se observa que la distancia máxima de desplazamiento hacia la ZMT es del municipio de Coyomeapan, en Puebla, con una distancia de 306 km, y el mínimo registrado por parte de Atizapán, con 22.1 km, en el Estado de México.

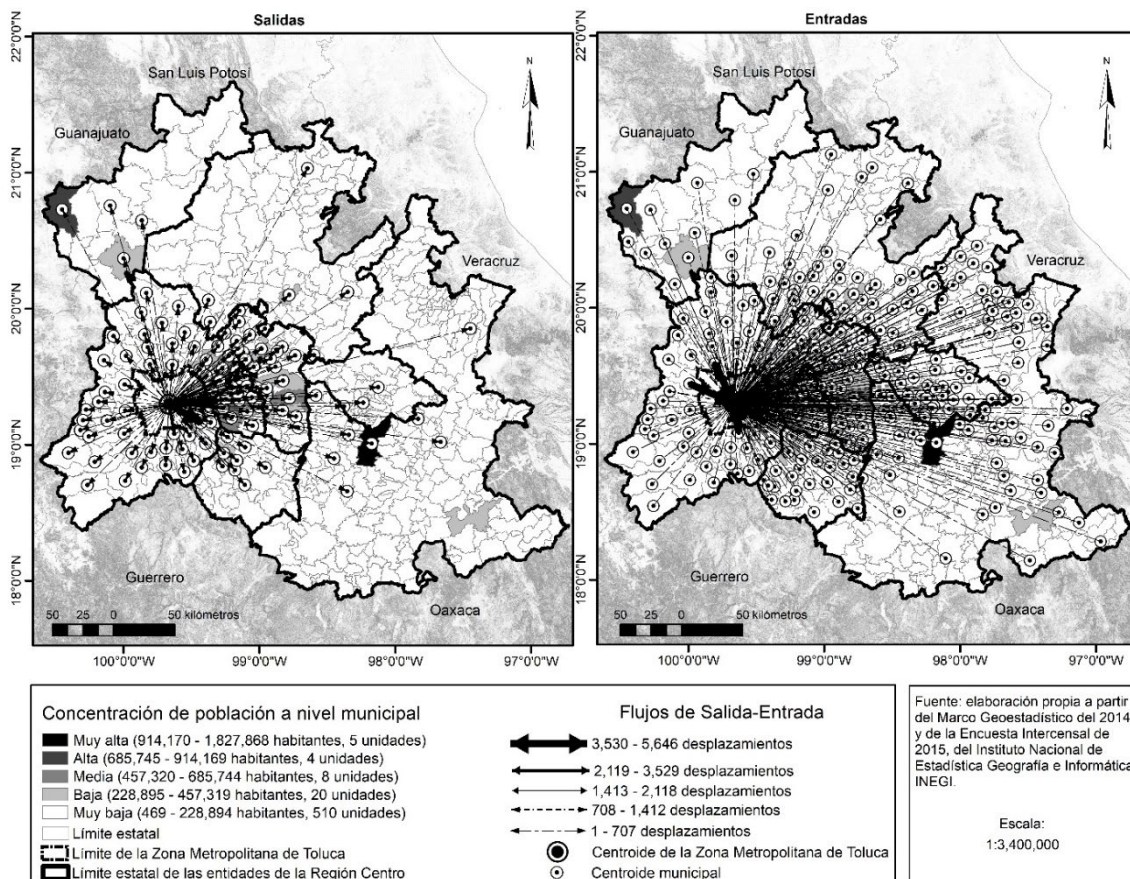
Sin embargo, para distinguir municipios que tienen un equilibrio en los movimientos (i.e. movimientos de atracción-expulsión de la población) en dirección a la ZMT, se establecen cinco categorías. Los resultados pueden observarse claramente en la figura 2, que distingue los municipios que atraen población proveniente de la ZMT y pertenecientes a la Zona Metropolitana del Valle de México, como Cuajimalpa de Morelos, Tianguistenco y Tenango del Valle en el Estado de México, donde, a mayor distancia respecto de la ZMT, es menor la cantidad de población que

es expulsada por ella. Se distingue también que en su mayoría expulsa población en dirección suroeste de la región, como a municipios correspondientes a la misma entidad donde se localiza la ZMT y a la Ciudad de México.

Por otro lado, en lo referente a aquellos municipios de los cuales la ZMT atrae población por motivos de trabajo, en su mayoría población de municipios conurbados a ella, tales como Capulhuac, Tenango del Valle, Atizapán, Texcalyacac, Villa Victoria, Tianguistenco y Almoloya del Río. Los municipios que presentan grado de expulsión muy alto se distinguen a su vez por atraer población de casi toda la región, en su mayoría de la misma entidad donde se localiza la ZMT, y presentan una integración funcional de entidades de Morelos y la Ciudad de México.

FIGURA 2

Movilidad laboral a escala municipal de la Zona Metropolitana de Toluca, 2015



Fuente: Elaboración propia basada en el INEGI (2015).

Al realizar el análisis de los flujos de población entradas-salidas en la ZMT se observa un patrón agregado de la movilidad laboral que se auxilia de Morelos y la Ciudad de México, así como de algunos municipios para cubrir sus propios requerimientos de empleo. Presenta también mayor número de entradas que de salidas por motivos de trabajo, lo que resalta su importancia en la región como un nodo de concentración de empleo.

MOVILIDAD ESTUDIANTIL

Tomando en consideración la accesibilidad a servicios educativos en nuestro país, es conveniente analizar los patrones de movilidad estudiantil que presenta la ZMT. El objetivo de analizar a la población que es atraída y expulsada por motivos estudiantiles es debido a la falta de instituciones que dan servicio de calidad en las entidades de origen (tabla 2 y figura 3). La mayor cantidad de interacciones se presentan con el Estado de Mé-

xico, que registra un flujo de salida del 80.7 % (i.e., 83 de cada cien movimientos se distribuyen en esta entidad), concentrados en 56 municipios. Lo sigue la Ciudad de México, con el 17.7%, localizado en dieciséis de sus diecinueve municipios (anteriormente denominadas como delegaciones), en conjunto captan el 98.4% del total de salidas. Por su parte el resto de las relaciones con las demás entidades son poco significativas, ya que en su conjunto solo representan el 1.9% del total de la población que sale de ella.

Se distingue un comportamiento similar al de expulsión de población por la predominancia de los pesos específicos que aporta cada entidad federativa, cuyo comportamiento es el siguiente: Estado de México aporta el 94.6% del total de la población atraída a la ZMT, procedente de 95 municipios; lo sigue la Ciudad de México, con el 3.1% extraído de once de los diecinueve municipios. En conjunto representan el 97.7% del total de población atraída.

TABLA 2

Movilidad estudiantil de la Zona Metropolitana de Toluca hacia las entidades federativas, 2015

Entidad	Salidas				Entradas			
	Personas	Porcentaje	Municipios	Porcentaje	Personas	Porcentaje	Municipios	Porcentaje
Ciudad de México	1,871	17.7	16	20.3	564	3.1	11	6.8
Hidalgo	6	0.1	1	1.3	155	0.8	20	12.4
México	8,509	80.7	56	70.9	17,449	94.6	95	59.0
Morelos	21	0.2	1	1.3	106	0.6	17	10.6
Puebla	58	0.5	2	2.5	33	0.2	7	4.3
Querétaro	76	0.7	2	2.5	111	0.6	5	3.1
Tlaxcala	6	0.1	1	1.3	30	0.2	6	3.7
Total	10,547	100.0	79	100.0	18,448	100.0	161	100.0

Fuente: Cálculos y elaboración propios basados en la Muestra Intercensal 2015 (INEGI, 2015).

Analizando las relaciones generadas por los flujos de movilidad estudiantil origen-destino, se observó el mismo comportamiento predominante entre el Estado de México y la Ciudad de México en aspectos de movilidad laboral. La ZMT se auxilia de la Ciudad de México para cubrir la

demanda estudiantil, con instituciones reconocidas de educación como la UNAM y el Politécnico Nacional. La movilidad estudiantil de la ZMT expulsa población a 79 municipios, lo que da un total de 10,547 estudiantes.

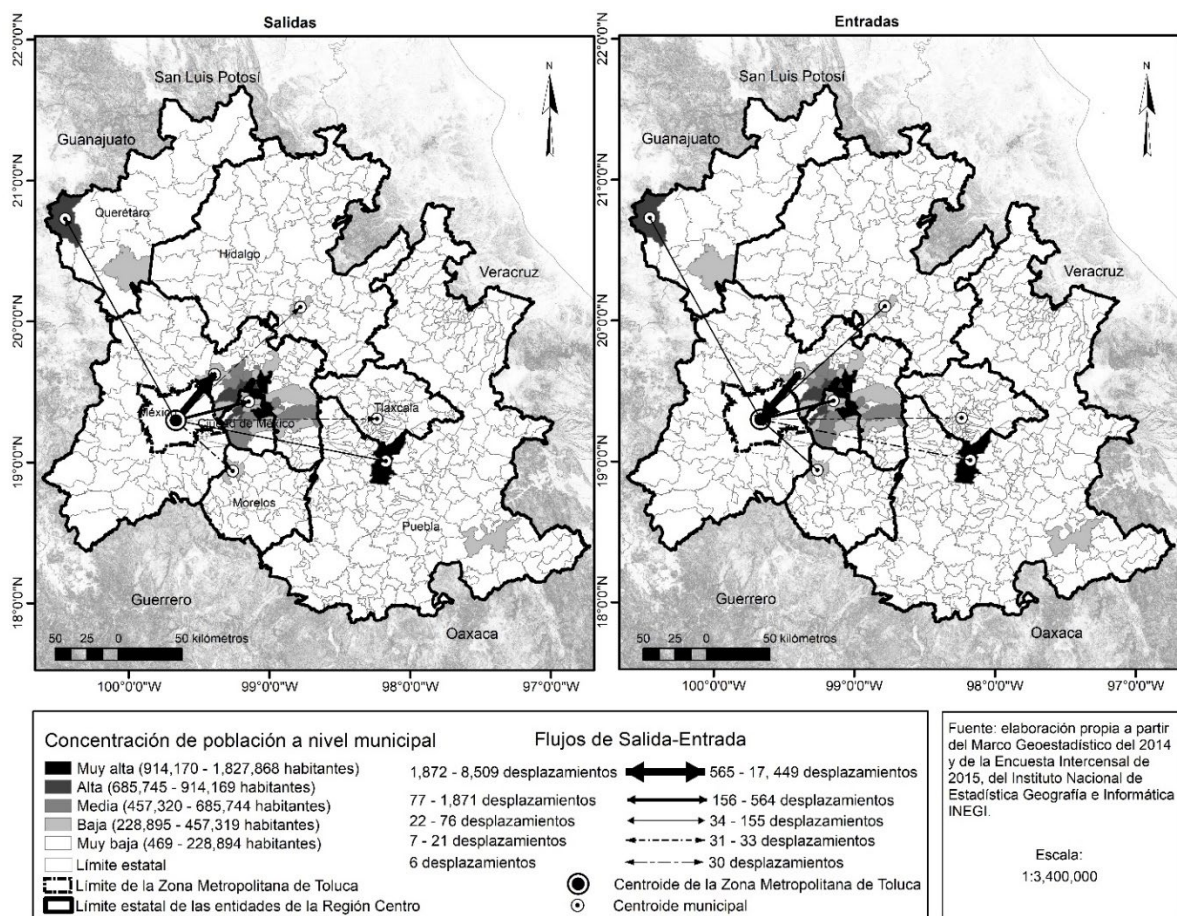
La población que se desplaza a la ZMT por motivos estudiantiles muestra un mismo comportamiento (ingresar a instituciones con alto nivel académico). La población atraída provino del Estado de México y la Ciudad de México, de 161 municipios y 18,448 estudiantes. Se distingue un punto de equilibrio en el Estado de México, ya que atrae y expulsa casi la misma población por motivos estudiantiles en la ZMT (figura 3).

El comportamiento de los flujos de movilidad estudiantil en la ZMT, expulsó población con dirección a municipios conurbados y como se

muestra en la figura 4. En su mayoría al noreste de la región, municipios que presentan altas concentraciones de población, así como a municipios con muy baja concentración de población. Las principales relaciones se presentan en el municipio de Ixtlahuaca, con 2,467 estudiantes, seguida por Tianguistenco, con 2,111 estudiantes, y Tenango del Valle, con 1,002 estudiantes. En conjunto, estos municipios atraen el 45.1% del total de las salidas de la ZMT, lo que muestra una clara dependencia por necesidades de educación.

FIGURA 3

Movilidad estudiantil de la Zona Metropolitana de Toluca, 2015



Fuente: Elaboración propia basada en el INEGI (2015).

Se distingue que la ZMT presenta interacción en su mayoría con las zonas metropolitanas del Valle de México, Tianguistenco y Puebla-Tlaxcala. Respecto de las distancias de desplazamiento,

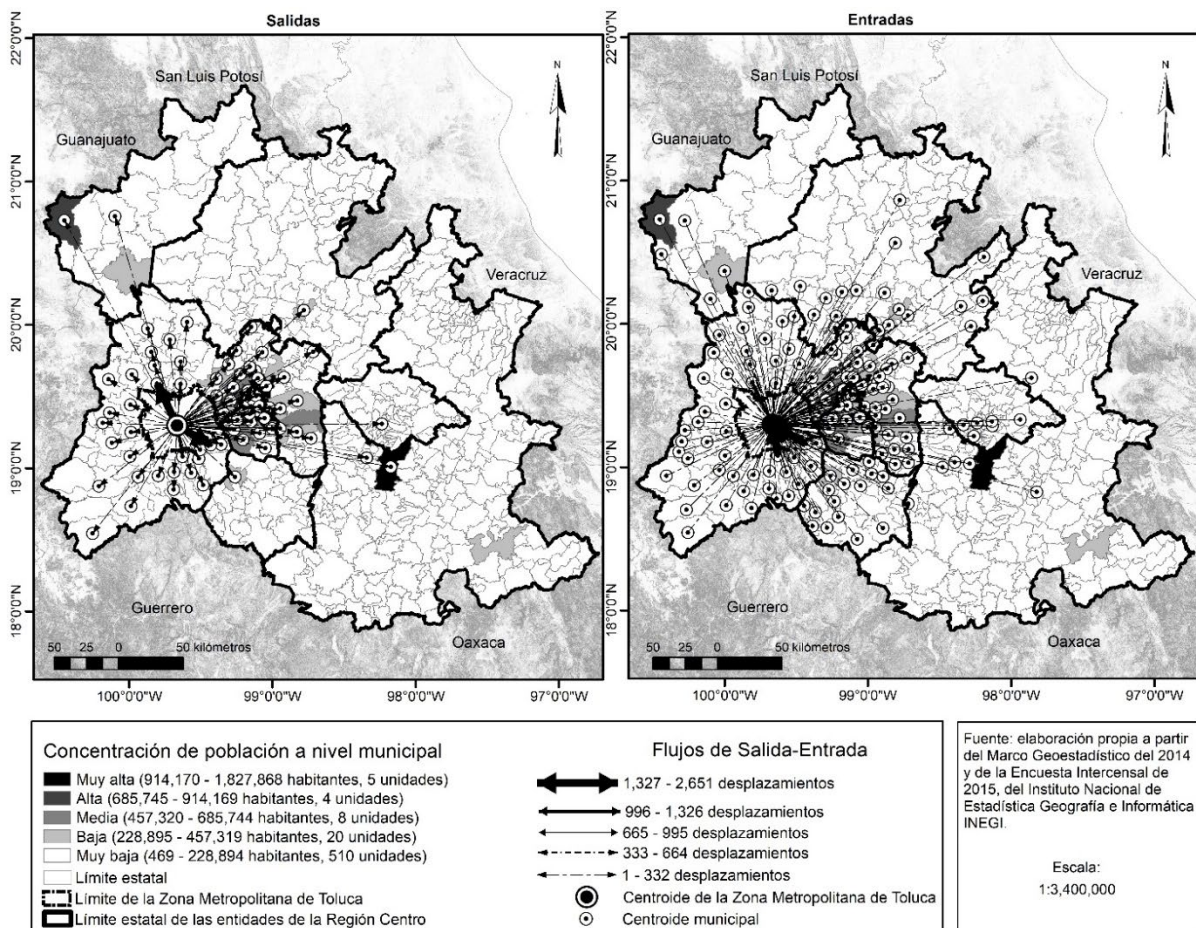
se tiene una distancia máxima registrada de 178.5 km en dirección a Querétaro, y una mínima de 22.1 km a Atizapán de Zaragoza.

El comportamiento de la población atraída a la ZMT por motivos estudiantiles se distingue que atrae población local como de municipios de las distintas entidades de la región Centro. Las principales relaciones se dan con los municipios de Tenango del Valle, con 2,651 estudiantes, Tianguistenco, con 1,509 estudiantes, Capulhuac, con 1,256 estudiantes, e Ixtlahuaca, con 1,020 es-

tudiantes; en conjunto, representan el 34.9% del total de la población, lo cual presentan una muy baja concentración de población (figura 4). Se observó que la distancia máxima es de 201.6 km, de estudiantes provenientes del municipio de San Bartolo Tutotepec, en Hidalgo, y una mínima de 22.1 km, provenientes de Atizapán de Zaragoza, en el Estado de México.

FIGURA 4

Movilidad estudiantil a escala municipal de la Zona Metropolitana de Toluca, 2015



Fuente: elaboración propia con base en el INEGI (2015).

Se identificaron diferentes grados de atracción y expulsión de población estudiantil. Podemos observar que los municipios de mayor atracción población estudiantil proveniente de la ZMT son: Tianguistenco, Ixtlahuaca, Almoloya del Río, Tenango del Valle y Atizapán de Zaragoza en el Estado de México, así como en municipios de la

Ciudad de México y algunos municipios de las entidades que se encuentran al este y al norte de la ZMT.

En lo referente a la atracción de población por motivos estudiantiles proveniente de la ZMT, se destacan Capulhuac, Tenango del Valle, Atizapán de Zaragoza, Almoloya del Río, Texcalyacac

y Tianguistenco, que presentan muy altas tasas de atracción y son municipios conurbados. Los municipios de mayor atracción de estudiantes corresponden al Estado de México y la Ciudad de México; estos municipios se localizan al suroeste, el noroeste y el sureste de la entidad donde se localiza al ZMT.

La ZMT cubre la mayoría de las necesidades de educación del Estado de México, además de que se confirma una centralidad respecto de la localización de servicios educativos. Por otro lado, al expulsar una alta cantidad de estudiantes hacia la Ciudad de México, esto puede ser explicado por su alta concentración de servicios de calidad e infraestructura; también allí disponen de mayor oferta educativa.

MOVILIDAD GLOBAL EN LA ZONA METROPOLITANA DE TOLUCA

Después de la instrumentación y la aplicación de la metodología propuesta en esta investigación, se ha obtenido información que permitió describir y caracterizar los flujos de población entre la ZMT; se tomó información estadística de la Encuesta Intercensal de 2015, en específico la Muestra Censal, y se analizaron los rubros de movilidad laboral y estudiantil.

La movilidad temporal muestra que se desplazó de la ZMT hacia las entidades al este y norte es de 46,399 personas. El Estado de México se ubica como el centro de atracción de población de los flujos, con el 61.7% (28,417 personas), lo que indica que la mayoría de la movilidad es local; lo sigue la Ciudad de México, con el 34.5%. Con muy poca atracción se encuentra Querétaro, con el 1.7%, Morelos, con el 1%, Puebla, con 0.9%, Hidalgo, con 0.5% y Tlaxcala, con 0.2% (cuadro 3 y figura 5).

TABLA 3

Movilidad temporal de la Zona Metropolitana de Toluca, 2015

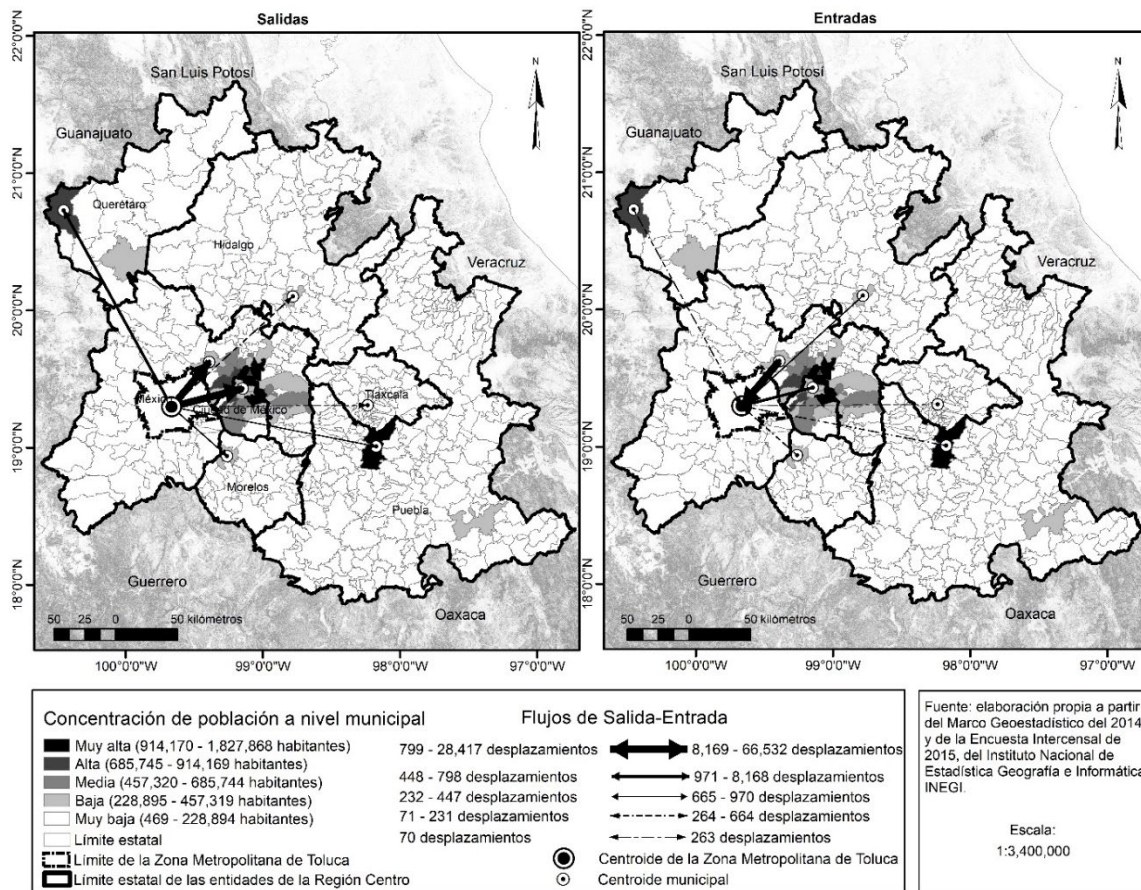
Entidad	Salidas				Entradas			
	Personas	Porcentaje	Municipios	Porcentaje	Personas	Porcentaje	Municipios	Porcentaje
Ciudad de México	16,026	34.5	16	12.6	8,168	10.5	16	4.7
Hidalgo	231	0.5	7	5.5	970	1.2	54	15.8
México	28,417	61.2	81	63.8	66,532	85.6	110	32.3
Morelos	447	1.0	8	6.3	625	0.8	32	9.4
Puebla	410	0.9	8	6.3	664	0.9	78	22.9
Querétaro	798	1.7	4	3.1	486	0.6	11	3.2
Tlaxcala	70	0.2	3	2.4	263	0.3	40	11.7
Total	46,399	100.0	127	100.0	77,708	100.0	341	100.0

Fuente: Cálculos y elaboración propios, basados en la Muestra Censal 2015 (INEGI, 2015).

Tomando en consideración la población que se expulsó en la Región Centro, se presenta una interacción con 127 municipios de los 553 que integran la región (figura 6). La ZMT expulsó mayor cantidad de población a municipios conurbados, en los cuales se distingue que los municipios con mayor atracción de población son Tianguistenco, con 5,064 personas, Cuajimalpa de Morelos, 4,351 personas, Ixtlahuaca, con 3,706 personas, y Te-

nango del Valle, con 3,188 personas. En conjunto atrajeron a 18,098 personas que en total representan el 35.1% del total de la población expulsada de la ZMT. Expulsa población tanto a municipios con muy altas densidades de población a muy bajas, en su mayoría a municipios correspondientes a la Zona Metropolitana del Valle de México, como a la misma entidad donde se localiza la zona metropolitana.

FIGURA 5
Movilidad de la Zona Metropolitana de Toluca, 2015



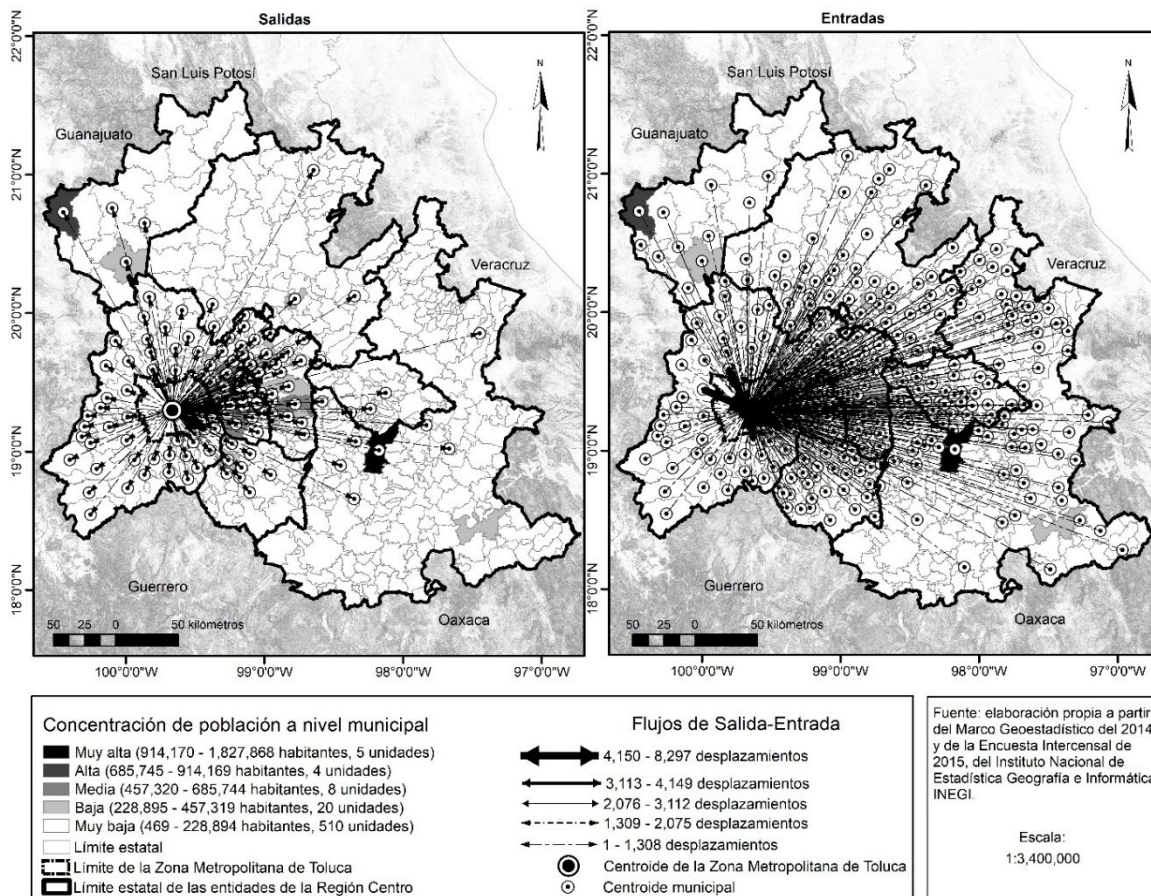
Fuente: Elaboración propia basada en el INEGI (2015).

La ZMT atrajo población de 341 municipios de los 553 que integran la región. Atrae población tanto de municipios conurbados como de otras entidades, que presentan tanto altas densidades de población como muy bajas. Se destacan por la mayor cantidad de flujos los municipios de Tenango del Valle, con 8,297 personas, Villa Victoria, con 5,038 personas, Ixtlahuaca, con 4,987 personas, y Tianguistenco, con 4,506 personas. Estos municipios de la ZMT atrajeron a 22,828 personas, que representan el 29.4% del total de las entradas en la zona.

Respecto de las distancias de desplazamiento, la máxima registrada es de 240.6 km, en dirección al municipio de Tételes de Ávila Castillo, en Puebla, con 180 personas, y la distancia mínima es de 22.1 km, en Atizapán de Zaragoza, en el Estado de México, con 528 personas. En contraste, para las entradas registradas se observa que la distancia máxima es de 306 km, en dirección a Coyomeapan, en el estado de Puebla. El municipio que se encuentra a distancia mínima es Atizapán de Zaragoza, en el Estado de México, con 935 personas (figura 6).

FIGURA 6

Movilidad temporal de los municipios de la Zona Metropolitana de Toluca, 2015



Fuente: Elaboración propia basada en el INEGI (2015).

Con los resultados obtenidos y mostrados en la figura 6 se puede distinguir que las entidades de la región Centro con mayor expulsión de población que se dirige a la ZMT son Hidalgo, Estado de México y Tlaxcala, mientras que las entidades que reciben o atraen mayor población son Ciudad de México, Morelos y Querétaro, que presentan un patrón de movilidad mayor. A su vez, la entidad que presenta un punto de equilibrio es Puebla.

La ZMT presenta interacción e integración funcional con los distintos nodos de la región, y otorga apoyo para cubrir sus requerimientos de empleo y educación. A su vez, se identifican

procesos de descentralización urbana y concentración espacial de las actividades económicas.

Se identifican dos tipos de redes a las cuales pertenece la ZMT, tomando en consideración las interacciones y las distancias de desplazamiento registradas. La interna de la ciudad dirigida a la entidad y la red de la ciudad interestatal. Las interacciones que registra la ZMT respecto de la región permiten conocer el grado de integración funcional entre concentración de población y actividades económicas. Un hallazgo importante es que se presenta un mayor número de entradas que de salidas de población.

CONCLUSIONES

El análisis presentado permite mostrar la importancia de la ZMT en materia de servicios educativos, de concentración de actividades económicas y de movilidad laboral. Atrae mayor población que la que expulsa por motivos de trabajo, en su mayoría de la misma entidad donde se localiza, al igual que de municipios conurbados. Respecto de la población que sale o expulsa de la región, un total de 35,852 habitantes o trabajadores, se desplazan a 125 municipios; se observa una distancia máxima de desplazamiento de 240.6 km y una mínima de 22.1 km.

El comportamiento de la población que es atraída, en su mayoría corresponde a municipios conurbados y de la misma entidad, atrae un total de 59,260 habitantes o trabajadores provenientes de 328 municipios de la región. La distancia máxima de desplazamiento es 306 km, y la mínima es 22.1 km. El comportamiento de la movilidad laboral recorre grandes distancias para desplazarse por motivos de trabajo o para ir a su empleo y generar un ingreso con el cual mantenerse o mantener a su familia.

Por otro lado, la movilidad estudiantil de la ZMT presenta un comportamiento similar a la movilidad laboral, ya que atrae mayor cantidad de estudiantes que los que expulsa. La atracción y expulsión de estudiantes, en su mayoría, corresponden a la misma entidad donde se localizan, lo que indica que en la ZMT se concentran servicios educativos que satisfacen la demanda estatal y regional. Se expulsan o salen en total 10,547 estudiantes en 79 municipios de la región, los cuales, en su mayoría, se distribuyen o corresponden a municipios del Estado de México, con una distancia máxima de desplazamiento de 178.5 km y una mínima de 22.1 km.

Por otra parte, la atracción de estudiantes que presenta la ZMT es de un total de 18,448 estudiantes provenientes de 161 municipios de la región, con una distancia máxima de 201.6 km, provenientes de San Bartolo Tutotepec, en Hidalgo, y una mínima de 22.1 km, provenientes de Atizapán de Zaragoza. Al contrastar las distancias de expulsión y atracción de estudiantes, se consideran

grandes distancias que tiene que recorrer la población estudiantil para obtener una formación académica. Un factor que no se considera en este trabajo es la fricción de la distancia (i.e. el tiempo y el gasto que necesitan para trasladarse); en trabajos posteriores se presentarán agregadas estas variables, además de los problemas de la movilidad estudiantil.

La movilidad temporal presenta un patrón agregado de movilidad laboral y estudiantil. En un primer momento se identifica una integración funcional con la Ciudad de México, a su vez de que se auxilia y ayuda a las entidades de la región a cubrir su demanda de empleo y servicios educativos. Presenta un mayor número de entradas que de salidas, lo cual se explica por la concentración de servicios e infraestructura, que configuran dos tipos de redes, una interna a la entidad y una interestatal.

Otro elemento para resaltar es que con los datos obtenidos se puede saber la capacidad de carga de la metrópoli y tomar en consideración este estudio como parteaguas en la sustentabilidad urbana. Por último, tomando en consideración la metodología propuesta para analizar la movilidad laboral y estudiantil, facilita el análisis de estos, como su aplicación es relativamente sencilla.

La movilidad temporal toma como referencia la Ciudad de México en la región centro de México, demarca que las afectaciones de vivir lejos de su medio de trabajo tiene repercusiones tanto económicas, de salud y de calidad. Como las grandes distancias que recorre la población para llegar a sus trabajos o escuelas.

REFERENCIAS

- Acuña, B. y Graizbord, B. (1999). Movilidad cotidiana de trabajadores en el ámbito megalopolitano de la Ciudad de México. *Transiciones*, 1.
- Aguilar, A. G. y Hernández-Lozano, J. (2018). La reorientación de flujos migratorios en la ciudad-región. El caso de la Ciudad de México en la Región Centro. *EURE*, 44(133), 135-159. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/s0250-71612018000300135>

- Alcántara de Vasconcellos, E. (2010). *Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad*. CAF.
- Bergantino, A. y Madio, L. (2019). Intra-and inter-regional Commuting: Assessing the Role of Wage Differentials. *Papers in Regional Science*, 98(2), 1-30. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/pirs.12394>
- Börsch-Supan, A. (1990). Education and its Double-edged Impact on Mobility. *Economics of Education review*, 9(1), 39-53.
- Camagni, R. (2005). *Economía urbana*. Antonio Bosch editor.
- Campos-Vargas, M., Toscana-Aparicio, A. y Campos Alanís, J. (2015). Riesgos siconaturales: vulnerabilidad socioeconómica, justicia ambiental y justicia espacial. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 24(2), 53-69.
- CEPAL Comisión Económica para América Latina y el Caribe y UN Naciones Unidas (2012). *Población, territorio y desarrollo sostenible*. CEPAL.
- Clark, V., Huang, Y. y Withers, S. (2003). Does Commuting Distance Matter? Commuting Tolerance and Residential Change. *Regional Science and Urban Economics*, 33(2), 199-221. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0166-0462\(02\)00012-1](https://doi.org/10.1016/S0166-0462(02)00012-1)
- Cristaldi, F. (2005). Commuting and Gender in Italy: a Methodological Issue. *The Professional Geographer*, 57(2), 268-284. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.2005.00477.x>
- Dickerson, A., Hole, A. y Munford, L. (2014). The Relationship between Well-being and Commuting Revised: Does the Choice of Methodology Matter? *Regional Science and Urban Economics*, 46, 321-329. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2014.09.004>
- Galindo, M., Pérez, E. y Suárez, M. (2020). Movilidad intrarregional en la región Centro de México, 2000-2015. *Investigaciones geográficas*, (102). Disponible en: <https://doi.org/10.14350/rig.60093>
- Garrocho, C., Aguilar, A., Brambila, C., Graizbord, B. y Sobrino, J. (2014). *Hacia una cultura de las ciudades sostenibles*. Instituto de Geografía UNAM, Tecnológico de Monterrey, Colegio de México, Mexico City.
- Garrocho, C., Jiménez, E., Álvarez, J. A. y Consejo Nacional de Población. (2014b). *Estructura profunda de los flujos migratorios en México, 1990-2010*. Consejo Nacional de Población (Ed.), La situación demográfica de México.
- Garrocho, R., C. (2003). La teoría de interacción espacial como síntesis de las teorías de localización de actividades comerciales y de servicios. *Economía, Sociedad y Territorio*, IV (14), 203-251. Disponible en: <https://doi.org/10.22136/est002003426>
- Gatersleben, B. y Uzzell, D. (2007). Affective Appraisals of the Daily Commute: Comparing Perceptions of Drivers, Cyclists, Walkers, and Users of Public Transport. *Environment and behavior*, 39(3), 416-431. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0013916506294032>
- Gimenez-Nadal, J. y Molina, J. (2014). Commuting Time and Labour Supply in the Netherlands. *Journal of Transport Economic and Policy*, 48 (3), 409-426. Disponible en: <http://www.jstor.org/stable/24396295>
- Goerke, L. y Lorenz, O. (2017). Commuting and Sickness Absence. *SOEP papers on Multidisciplinary Panel Data Research*, 1-27.
- Graizbord, B. (2008). *Geografía del transporte en el área metropolitana de la Ciudad de México*. El Colegio de México.
- y Molinatti, C. (1998). *Movilidad megapolitana de fuerza de trabajo. Población, desarrollo y globalización*. Somede-El Colegio de la Frontera Norte, 211-220.
- y Santillán, M. (2005). Dinámica demográfica y generación de viajes al trabajo en el AMCM: 1994-2000. *Estudios demográficos y urbanos*, 20(1), 71-101.
- Granados-Alcantar, J. A. y Franco-Sánchez, L. M. (2017). Migración y movilidad laboral entre las zonas metropolitanas de la región centro de México. *Papeles de población*, 23(91), 117-141. Disponible en: <https://doi.org/10.22185/24487147.2017.91.006>
- Groot, S., De Groot, H. L. y Veneri, P. (2012). The Educational Bias in Commuting Patterns: Micro-Evidence for the Netherlands. *Behavioral Economics (Topic)*.
- Gutiérrez-i-Puigarnau, E. y van Ommeren, J. (2009). Labour supply and commuting. *SOEP papers on Multidisciplinary Panel Data Research*, (222), 1-35.
- Gutiérrez-i-Puigarnau, E., Mulalic, I. y van Ommeren, J. N. (2016). Do rich Households Live Farther away from their Workplaces? *Journal of Economic Geography*, 16(1), 177-201.
- Ham, M. van y Hooimeijer, P. (2009). Regional Differences in Spatial Flexibility: Long Commutes and Job Related Migration Intentions in the Nether-

- lands. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 2(2), 129-146. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12061-008-9016-2>
- , Mulder, C. H. y Hooimeijer, P. (2001). Spatial Flexibility in Job Mobility: Macro Level Opportunities and Microlevel Restrictions. *Environment and Planning A*, 33(5), 921-940. Disponible en: <https://doi.org/10.1068/a33164>
- Helderman, A. C., Mulder, C. H. y Van Ham, M. (2004). The Changing Effect to Home Ownership on Residential Mobility in the Netherlands, 1980-98. *Housing Studies*, 19 (4), 601-616. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/0267303042000221981>
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2014). Marco Geoestadístico 2014. Aguascalientes, México. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825004386>
- (2015). Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), población de 15 años y más de edad. Aguascalientes, México. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/enoe/15y-mas/#Tabulados>
- (2016). Encuesta intercensal 2015. Aguascalientes, México. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/>
- (2017). Encuesta Origen Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México (EOD) 2017. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/eod/2017/>
- Kantor, Y., Nijkamp, P. y Rouwendal, J. (2012). Homeownership, Unemployment and Commuting Distances. *Tinbergen Institute Discussion Paper*.
- Kariv, D. y Kirschenbaum, A. (2007). Collective Spatial Perceptions of Men and Women Commuters: Linking Space, Jobs and Activity. *Journal of Human Ecology*, 22(1), 71-82.
- Künn-Nelen, A. (2016). Does Commuting affect health? *Health Economic*, 25(8), 984-1004. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/hec.3199>
- Lehmer, F. y Ludsteck, J. (2011). The Returns to Job Mobility and Inter-regional Migration: Evidence from Germany. *Papers in Regional Science*, 90(3), 549-572. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1435-5957.2010.00326.x>
- Lois, C. (2015). El mapa, los mapas. Propuestas metodológicas para abordar la pluralidad y la inestabilidad de la imagen cartográfica. *Geograficando*, 11(1), 1-23. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/53788>
- Lois, D., Moriano, J. A. y Rondinella, G. (2015). Cycle Commuting Intention: A Model Based on Theory of Planned Behaviour and Social Identity. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 32, 101-113. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.05.003>
- Lundholm, E. (2010). Interregional Migration Propensity and Labour Market Size in Sweden, 1970-2001. *Regional Studies*, 44(4), 455-464. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00343400802662674>
- Manríquez, N. (2022, febrero 8). Las deseconomías de aglomeración: una reflexión para el área urbana de Mazatlán. *Entre Veredas*. Disponible en: <https://www.entreveredas.com.mx/2022/02/las-deseconomias-de-aglomeracion-una.html>
- McQuaid, R. W. y Chen, T. (2012). Commuting times- The role of Gender, Children and Part-time work. *Research in transportation economics*, 34(1), 66-73. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.re-trec.2011.12.001>
- Michielin, F. y Mulder, C. H. (2008). Family Events and the Residential Mobility of Couples. *Environment and Planning A*, 40(11), 2770-2790. Disponible en: <https://doi.org/10.1068/a39374>
- Molina-García, J., Castillo, I. y Sallis, J. F. (2010). Psychosocial and Environmental Correlates of Active Commuting for University Students. *Preventive medicine*, 51(2), 136-138. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2010.05.009>
- Mulder, C. H. y Kalmijn, M. (2006). Geographical Distances between Family Members. *Family solidarity in the Netherlands*, 43-61.
- Nuvolati, G. (2007). Commuting and Quality of Life: The Italian Case. *In Advancing Quality of Life in a Turbulent World*, 55-66.
- O'Brien, M. (2011). Discouraged Older Male Workers and the Discouraged Worker Effect. *Australian Journal of Labour Economics*, 14(3), 217-235.
- Oliveira, R., Moura, R., Viana, J., Tigre, R. y Sam-paio, B. (2015). Commute Duration and Health: Empirical Evidence from Brazil. *Transportation Research Part A*, 62-75. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.07.020>
- Olivera-Lozano, G. y Galindo-Pérez, C. (2013). Dinámica económica y migración en la región centro de México: impronta territorial de dos procesos convergentes. *Economía, Sociedad y Territorio*, XIII (42), 381-430.
- Parenti, A. y Tealdi, C. (2019). The Role of Job Uncertainty in Inter-regional Commuting: The Case

- of Italy. *Growth and Change*, 50(2), 634-671. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/grow.12290>
- Pazos, M. y Alonso, M. P. (2009). La movilidad laboral diaria: contrastes territoriales en el Eje Atlántico Gallego. *Ería: Revista Cuatrimestral de Geografía*, (78-79), 97-112.
- Pichardo-Muiz, A. y Otoyá, M. (2012). Agglomeration Economies versus Urban Diseconomies: The Case of the Greater Metropolitan Area (GMA) of Costa Rica. *Advances in Spatial Planning*. DOI: 10.5772/34621
- Plaut, P. (2006). The Intra-household Choices Regarding Commuting and Housing. *Transportation Research Part A*, 40 (7), 561-571. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2005.10.001>
- Prashker, J., Shiftan, Y. y HersHKovitch-Sarusi, P. (2008). Residential Choice Location, Gender and the Commute Trip to Work in Tel Aviv. *Journal of Transport Geography*, 16, 332-341. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2008.02.001>
- Roberts, J. y Taylor, K. (2016). Intra-household Commuting Choices and Local Labour Markets. *Oxford Economic Papers*, 1-24.
- Roberts, J., Hodgson, R. y Dolan, P. (2011). "It's Driving her Mad": Gender Differences in the Effects of Commuting on Psychological Health. *Journal of Health Economics*, 30(5), 1064-1076. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhealeco.2011.07.006>
- Rouwendal, J. y van Ommeren, J. (2007). Recruitment in a Monopsonistic Labour Market: Will Travel Costs be Reimbursed? *Tinbergen Institute Discussion Paper*, (07-044).
- Salazar, C. E. y Sobrino, J. (2010). La ciudad central de la Ciudad de México: ¿espacio de oportunidad laboral para la metrópoli? *Estudios Demográficos y urbanos*, 25(3), 589-623. Disponible en: <https://doi.org/10.24201/edu.v25i3.1361>
- Sandow, E. y Westin, K. (2010). The Persevering Commuter-Duration of Long-distance Commuting. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(6), 433-445. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2010.03.017>
- Simpson, W. (1992). *Urban Structure and the Labour Market: Worker Mobility, Commuting and Underemployment in Cities*. Oxford, UK: Clarendon.
- Smith, M. P. y Guarnizo, L. E. (2009). Global Mobility, Shifting Borders and Urban Citizenship. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 100(5), 610-622.
- Snellman, K., Silva, J. M., Frederick, C. B. y Putnam, R. D. (2015). The Engagement Gap: Social Mobility and Extracurricular Participation among American Youth. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 657(1), 194-207. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/24541799>
- Sobrino, J. (2012). La urbanización en el México contemporáneo. *Notas de población*, XXXIX (94), 93-122.
- Stutzer, A. y Frey, B. S. (2008). Stress that doesn't pay: The commuting paradox. *Scandinavian Journal of Economics*, 110(2), 339-366.
- Suárez, M. y Delgado, J. (2010). Patronos de movilidad residencial en la Ciudad de México como evidencia de co-localización de población y empleos. *EURE (Santiago)*, 36(107), 67-91. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612010000100004>
- Torrado, J. M., Román, J. y Susino, J. (2018). Género y commuting en las regiones urbanas andaluzas. *Revista Internacional de Sociología*, 76(3), 1-16. Disponible en: <https://doi.org/10.3989/ris.2018.76.3.17.60>
- Valadez, A., Bravo, M. y Vaquero, J. (2019). Estrés urbanos, estrés y afrontamiento en habitantes de la Ciudad de México. *Revista Electrónica de Psicología Iztacala*, 22(4), 2965-2982.
- Vazquez, I. (2016). *Descentralización urbana y concentración espacial de la economía. Nuevas estructuras territoriales en las regiones centro y centro occidente de México 2000-2010*, [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]. Archivo digital.
- Vega, A., Kilgarriff, P., O'Donoghue, C. y Morrissey, K. (2017). The Spatial Impact of Commuting on Income: A Spatial Microsimulation Approach. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 10, 475-495. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12061-016-9202-6>
- Wheeler, S. (2009). Regions, Megaregions, and Sustainability. *Regional Studies*, 43.6, 863-876. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00343400701861344>

La modulación del concreto reciclado como estrategia de sustentabilidad en vivienda autoproducida

Modulating recycled concrete as a sustainability strategy in self-built housing

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i17.309>

ALBERTO MUCIÑO-VÉLEZ*

Universidad Nacional Autónoma de México. ORCID: 0000-0002-6386-0249

Correo electrónico: amucino@unam.mx

*Autor de correspondencia

ANTONIO TAHUITON-MORA

Universidad Nacional Autónoma de México. ORCID: 0000-0003-0475-7097

Correo electrónico: antoniotahuiton@unam.mx

CÉSAR ARMANDO GUILLÉN-GUILLÉN

Universidad Nacional Autónoma de México. ORCID: 0000-0002-2596-6122

Correo electrónico: cguillen@unam.mx

Recepción: 3 de octubre de 2024 Aceptación: 28 de octubre de 2024

RESUMEN

Se exploró la pertinencia de la construcción modular y la aplicación de los concretos reciclados con el fin de caminar hacia sistemas constructivos para viviendas autoproducidas. Se pregunta si es posible emplear concreto reciclado en la autoconstrucción aplicando criterios constructivos de la modulación asociándola al concepto de sustentabilidad. Se utilizó un método exploratorio para analizar la construcción modular y el uso de residuos de la construcción y demolición en concretos estructurales. Se aplicó un método experimental considerando pruebas por compresión y tensión para evaluar resistencia y adherencia acero-concreto reciclado. Los resultados demuestran que es posible emplear materiales reciclados en concretos y obtener adecuada resistencia a compresión y adherencia con acero de refuerzo. Se discute que la modulación ofrece soluciones que permiten mejorar el manejo

de materiales, con lo que es posible optimizar la aplicación útil de los residuos de la construcción, y potenciar el uso de prefabricados de concreto reciclado. Pero se reconocen limitaciones normativas para la aplicación estructural, por la heterogeneidad de sus componentes, y que se debe llevar a cabo el proceso de maduración tecnológica y mejorar la durabilidad para garantizar la seguridad estructural de un prefabricado de concreto reciclado modulable. Se concluye que integrar conceptos de modulación y concretos reciclados prefabricados favorece el diseño de vivienda autoproducida.

Palabras clave: vivienda modular, diseño flexible, construcción sustentable

ABSTRACT

The relevance of modular construction and the application of recycled concrete was explored to



propose construction systems for self-produced homes. It is questioned whether it is possible to improve the inadequate handling of materials and use recycled concrete in self-construction by applying construction criteria of modulation. The scope of the document is to explore the relevance of modulation associating it with the concept of sustainability and evaluate recycled concrete for structural use. An exploratory method was used to analyze modular construction, recognizing the concepts of flexibility, and use of construction and demolition waste in structural concrete. An experimental method was applied considering compression and tension tests to evaluate strength and adhesion of steel-recycled concrete. The results show that it is possible to use recycled materials in concrete and obtain adequate compressive strength and adhesion with reinforcing steel. It is discussed that modulation offers solutions that allow improving materials management, making it possible to optimize the useful application of construction waste, enhancing the use of recycled concrete precast. But regulatory limitations are recognized for the structural application due to the heterogeneity of its components, and the technological maturation process must be carried out and durability improved to guarantee the structural safety of a modular recycled concrete precast. It is concluded that integrating modulation concepts and prefabricated recycled concrete favors the design of self-produced housing.

Keywords: modular housing, flexible layout, sustainable construction

INTRODUCCIÓN

Una de las características de la vivienda autoproducida en México es su proceso de consolidación en distintos periodos, en el cual el espacio construido va sufriendo modificaciones físicas sin control de calidad o cumplimiento de normas. Como resultado se obtienen sistemas estructurales vulnerables ante el cambio climático. Por tanto, es necesario construir viviendas que se

adaptan a los escenarios climáticos proyectados a un “desarrollo resiliente al clima” (PNUMA, 2023), mediante soluciones constructivas flexibles que optimicen el manejo de los materiales y sistemas estructurales, y que permitan lograr bajo impacto ambiental de los proyectos, sin incrementar de modo significativo los costos (Ribeirinho *et al.* 2020; Cairns y Jacobs, 2014). La sustentabilidad afronta los retos que implica el desarrollo de tecnología resiliente (McDonough y Braungart, 2002), pero no se ha abordado el concepto en vivienda de modo integral (Staib, Dörrhöfer y Rosenthal, 2008). Y, aunque se promueven estándares y normas con criterios sustentables, aún es limitada su aplicación y su nivel de profundidad en el tema de los concretos reciclados estructurales y su vinculación con sistemas constructivos para vivienda. Por este motivo se propone adoptar criterios constructivos modulares, con el fin de mejorar la calidad en el manejo de la materia prima y dirigidos a diseñar prefabricados de concreto reciclado para aplicarlos en la construcción de viviendas.

En este documento se discute el concepto de construcción modular asociando su proceso a la sustentabilidad, y se analizó residuos de la construcción y demolición (RCD), para conseguir sistemas estructurales de concreto reciclado que puedan ser una opción para la autoproducción de vivienda en la zona metropolitana de México. Se delimita la investigación a comprobar que es posible lograr concretos estructurales usando solamente agregados reciclados, y que asociando los criterios constructivos de la modulación se puede conseguir una mejora en la calidad de los concretos reciclados.

CONSTRUCCIÓN MODULAR

Históricamente, la modulación ha sido la respuesta para acelerar la construcción de edificios, y como opción ante desastres naturales o para desarrollar edificaciones de un modo más económico, al atender dimensiones que permiten portabilidad y garantizar un adecuado emplazamiento (Ribeirinho *et al.*, 2020). De las caracte-

rísticas de la construcción modular se destaca el concepto de flexibilidad, que da la pauta al crecimiento o decrecimiento de un espacio, mediante la estandarización de los componentes que generan agrupaciones modulares. La modulación debe seguir procesos de modo sencillo y seguro que permiten la repetición dentro de una trama o sistema de referencia, con el fin de facilitar la planificación y distribución espacial (José y Tollenaere 2005; Ulrich y Tung 1991; Miller y Elgard 1998; Taalman y Hunsicker 2002; Singh *et al.* 2015). Al atender la cuestión formal en el diseño modular, se destacan el cubo como la forma más eficiente para la distribución de espacios, y la esfera como la forma más segura ante condiciones de clima extremo (Taalman y Hunsicker 2002), lo que puede considerarse una posible opción formal en zonas vulnerables por cambio climático.

En este documento se buscan criterios de diseño para unidades volumétricas cúbicas que hagan posible el repetir y conectar entre sí cada elemento en distintas etapas. Para elaborar las distintas piezas de la envolvente se deben asociar materiales reciclados como materia prima por su disponibilidad en zonas metropolitanas, abriendo la posibilidad de emplear concretos reciclados (Pedro, Brito y Evangelista, 2018; 2017a; 2017b; Andreu y Miren, 2014).

MODULACIÓN COMO ESTRATEGIA DE SUSTENTABILIDAD

La sustentabilidad como requerimiento en LA construcción ha sido ampliamente discutida, y ha dado la pauta para el desarrollo de normas y estándares en búsqueda de prácticas responsables (McDonough y Braungart, 2002; Zeumer, Hegger y Stark, 2012). Pero la idea de asociar la modularidad y la sustentabilidad ha sido menos analizada (Cairns y Jacobs, 2014; Staib, Dörrhöfer y Rosenthal, 2008).

La modularidad se asocia con la sustentabilidad desde la sistematización de metas, con el fin de lograr la estandarización de componentes. Lleva implícito reducir la generación de residuos de construcción y lograr mayor calidad de sistemas

constructivos. La modularidad integra conceptos de seguridad y adaptabilidad, relacionados con la vivienda resiliente necesaria para afrontar el cambio climático; por tal motivo, un proceso de diseño que aplica la modulación contribuye a la sustentabilidad (Cairns y Jacobs, 2014; Staib *et al.*, 2008; McDonough y Braungart, 2002; Keeler y Burke, 2009; Crowther, 2018)

Colocar la opción de construir un espacio habitable prefabricado con materiales reciclados requiere entender el proceso constructivo para establecer la secuencia de diseño (Keeler y Burke, 2009), lo que implica realizar componentes de fácil colocación o retiro o reúso sin degradar las propiedades del material (Crowther, 1999). La literatura consultada sugiere que para el diseño de envolventes se deben generar elementos livianos que puedan ser manejables y de fácil transportación (Staib *et al.*, 2008; Kieran y Timberlake, 2008; Gershenson, Prasad y Allamneni, 1999).

CONCRETOS RECICLADOS

Se considera emplear concretos reciclados por la disponibilidad de residuos de la demolición y construcción (RCD) que se cuantifican anualmente en cientos de millones de toneladas; de ellos se destacan los agregados reciclados (AR) provenientes de concreto, mortero, cerámicos o materiales mixtos. Actualmente la regulación de RCD en construcción se encuentra restringida en concretos estructurales, y causa una búsqueda para mejorar su aprovechamiento desde su origen y transformación hasta el tratamiento de los AR, pero se han realizado estudios que han aplicado con éxito la incorporación de materiales reciclados en concretos (Abbas *et al.*, 2009; Pedro *et al.*, 2018; 2017a; 2017b; Andreu y Miren, 2014). Los retos del uso de AR en concretos estructurales es lograr adecuadas resistencias mecánicas y durabilidad (Erdem y Blankson, 2014). Para ello se busca disminuir el contenido de impurezas contenidas en los agregados reciclados, con lo que se han logrado óptimas resistencias mecánicas, (Berredjem, Arabi y Molez, 2020) además, con la ayuda de fluidificantes, superplastificantes

o reductores de agua es posible mejorar trabajabilidad y durabilidad, y conseguir resistencias a compresión específicas, aunque con un incremento en el costo de producción del material. Otro componente de ayuda en el contexto del reciclaje es el uso de las puzolanas residuales, que permiten rellenar las partes porosas de la pasta endurecida (Del Valle *et al.*, 2015), con lo que se limita la carbonatación del concreto y la oxidación del acero. Buenas prácticas en concretos reciclados han realizado sustituciones del 30% (Dilbas, Çakır, Şimşek, 2016; Gujel, Kazmierczak, Masuero, 2017; Tibbetts, Perry, Ferraro, Hamilton, 2018). Pero en este documento se pregunta si es posible lograr concretos estructurales con 100% de sustitución, reconociendo que la literatura consultada indica que a mayor AR en la mezcla la resistencia de diseño se ve afectada (Kou, 2006). Una posible solución se encuentra en usar una baja relación agua/cemento que provoque una matriz más resistente, considerando la presaturación de los agregados, para disminuir la absorción de agua superficial y de este modo favorecer la resistencia a compresión. (Malešev, Radonjanin y Marinković, 2010). Otros estudios sugieren utilizar solo agregados gruesos reciclados con agregados naturales para sustituciones parciales (Gupta, Soroj y Sommath, 2011; Otzuki, 2003). Las sustituciones parciales se consideran apropiadas para diversificar el uso de los agregados reciclados.

MÉTODO

Se utilizó un método exploratorio para conocer el estado del arte de la construcción modular y relacionar la modulación con criterios de edificación sustentable empleando concretos reciclados; con esta información se propone un sistema constructivo utilizando bovedilla y muros de concreto reciclado. Se utiliza un diseño de mezcla con 100% de sustitución, aplicando el método del American Concrete Institute (ACI) con dos diseños testigo, donde se emplearon agregados naturales con el fin de contrastar resultados. Pos-

teriormente se realizaron sustituciones del 50% combinando arenas y gravas naturales con los agregados reciclados. Se valoró obtener mezclas para elaborar probetas cúbicas con una resistencia de 15 MPa para ensayarse a compresión a los 7, 14 y 28 días. Con la prueba de tensión se busca evaluar la adherencia para verificar que no existieran cambios significativos entre concreto convencional y reciclado al interactuar con el acero de refuerzo. No existe una prueba normalizada para conocer el grado de adherencia; por tal motivo, se elaboraron probetas cilíndricas con una varilla al centro que fue sometida a esfuerzos de tracción a los 7, 14 y 28 días. Se realiza un análisis de la densidad de los concretos reciclados y convencionales para determinar si existe disminución de peso. Para la propuesta de un espacio habitable se propone una trama en función del sistema vigueta y bovedilla para generar posibilidades de modulación.

Para la elaboración de las probetas ensayadas a compresión se utilizaron moldes metálicos cúbicos de 5 cm, acordes con la norma ASTM-C-109. Para las probetas cilíndricas se usaron moldes cilíndricos con relación dos a uno, con una varilla embebida. La dosificación de los materiales fue por peso, el cual se midió en una báscula electrónica con una sensibilidad de 0.01 g. Las probetas se midieron con un vernier con una exactitud de 0.01 mm.

Para determinar la curva granulométrica de las arenas se manejó una tamizadora Retsh modelo AS 200 Basic y un juego de tamices de las mallas 3/8", #4, #8, #16, #30, #50 y #100, como se establece en la norma ASTM-C-33. El tamaño máximo nominal de los agregados gruesos se obtuvo acorde con la norma NMX-C-077-ONNCCE-2019; para la densidad y el porcentaje de absorción de agua de las gravas se siguió las recomendaciones de la NMX-C-164-ONNCCE-2014; para el peso específico y el porcentaje de absorción de agua de las arenas se consultó la NMX-C-165-ONNCCE-2020, y para el módulo de finura la ASTM C-33.

Las pruebas mecánicas se llevaron a cabo en una máquina de pruebas universales marca Instron modelo 400RD-E1-H2 con capacidad de

200 t, la cual cuenta con un software que ejecuta los cálculos de la carga aplicada entre el área de contacto y da el valor del esfuerzo en MPa. El ensayo de compresión axial se basó en la norma ASTM C-109.6

MATERIALES

Los materiales para la experimentación fueron cemento gris Portland tipo II resistente a sulfatos; como agregados pétreos finos y gruesos naturales se utilizaron dos tipos, caliza triturada y agregados de río. Los agregados reciclados son producto de la trituración de concretos y morteros adquiridos de una planta de reciclaje de resi-

duos de la construcción para su transformación en materiales pétreos reciclados atendiendo a los parámetros establecidos en la tecnología del concreto (Steven, 2004). Los materiales son comercializados en la ciudad de México; por tanto, son accesibles, y fueron almacenados de modo hermético para controlar la interacción con el medio. Para la elaboración de las mezclas se utilizó agua suministrada de la red pública sin materia orgánica. En la tabla 1 se colocan los atributos de los agregados utilizados para realizar el diseño de mezclas. Para las pruebas de adherencia se empleó varilla corrugada de ½" de diámetro grado 42 en conformidad con la NMX-B-506-CANACERO-2019.

TABLA 1
Atributos de los agregados

Atributos	Tipos de agregados					
	Arena caliza	Grava caliza	Arena río	Grava río	Arena RCD	Grava RCD
Peso unitario suelto (kg/m³)	1541	1352	1380	1406	1213	1000
Peso unitario compactado (kg/m³)	1665	1468	1515	1537	1317	1109
Peso específico (kg)	2589	2732	2346	2672	2049	2337
Módulo de finura	2.93	N/A	3.58	N/A	2.97	N/A
Tamaño máximo nominal	N/A	¾"	N/A	¾"	N/A	1"
% Absorción	3.24%	0.042%	3.54%	1.00%	15.52%	9.712%
% Humedad	0.05%	0.003%	0.58%	0.005%	4.4%	2.144%

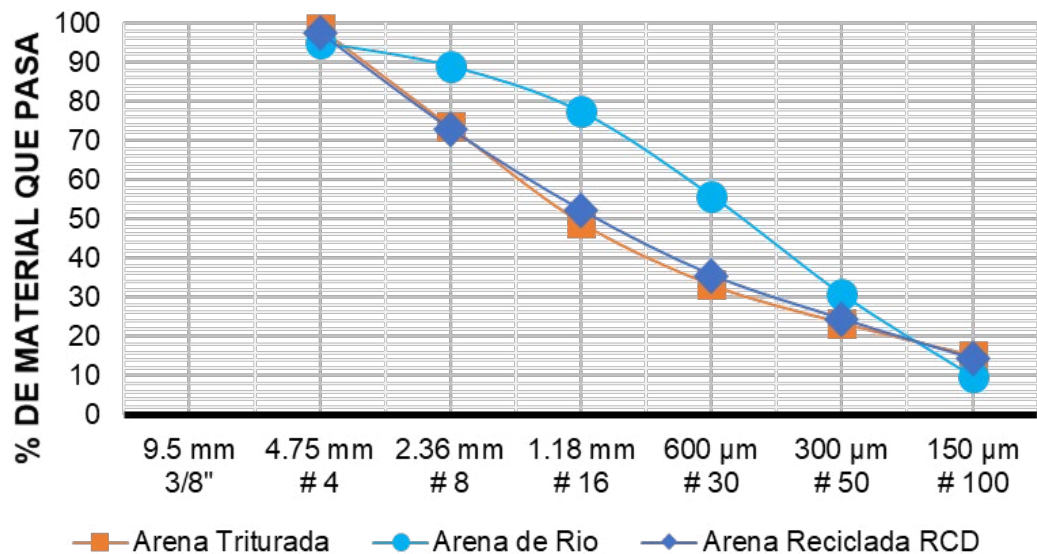
Fuente: Elaboración propia.

La gráfica 1 demuestra que los agregados reciclados finos tienen similitud con las arenas calizas trituradas en su distribución de granos y se califican dentro de los parámetros establecidos por la norma, al llevar un proceso de elabora-

ción basado en el control de distribución de los tamaños de partículas, como establece la NMX-C-077-ONNCCE-2019. Los rangos de tamaños de las arenas recicladas cumplen los requisitos para ser empleadas en mezclas de concreto.

GRÁFICA 1

Curva granulométrica de las arenas



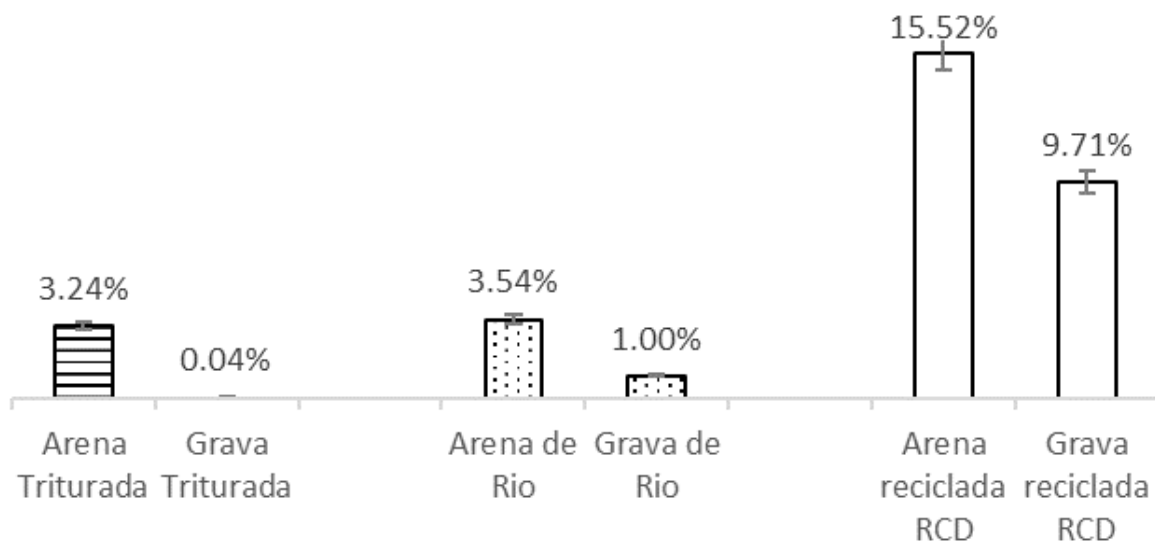
Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 2 se observa que los agregados reciclados tienen un mayor porcentaje de absorción de humedad; se destaca el 15.52% de las arenas recicladas. Lo anterior determinó el

ajuste por absorción de humedad en el diseño de mezcla y el reconocimiento de que las gravas trituradas representan una mayor oportunidad de sustitución que las arenas recicladas.

GRÁFICA 2

Porcentaje de absorción de los agregados



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 2 se identifica la nomenclatura utilizada por los diseños de mezcla M1 con agregados calizos triturados, M2 con agregados de río y M3 con agregados reciclados considerando 100% de

sustitución. Las mezclas M1 y M2 son testigos para comparar con el diseño que empleó el 100% de sustitución (mezcla M3).

TABLA 2
Identificación de contenidos de mezclas por agregados

Clave		M1	M2	M3
	Agregado	% de sustitución		
		0%	0%	100%
A1	Arena caliza	A1	-	-
A2	Arena de río	-	A2	-
A3	Arena RCD	-	-	A3
G1	Grava caliza	G1	-	-
G2	Grava de río	-	G2	-
G3	Grava RCD	-	-	G3
C	Cemento			
W	Agua			

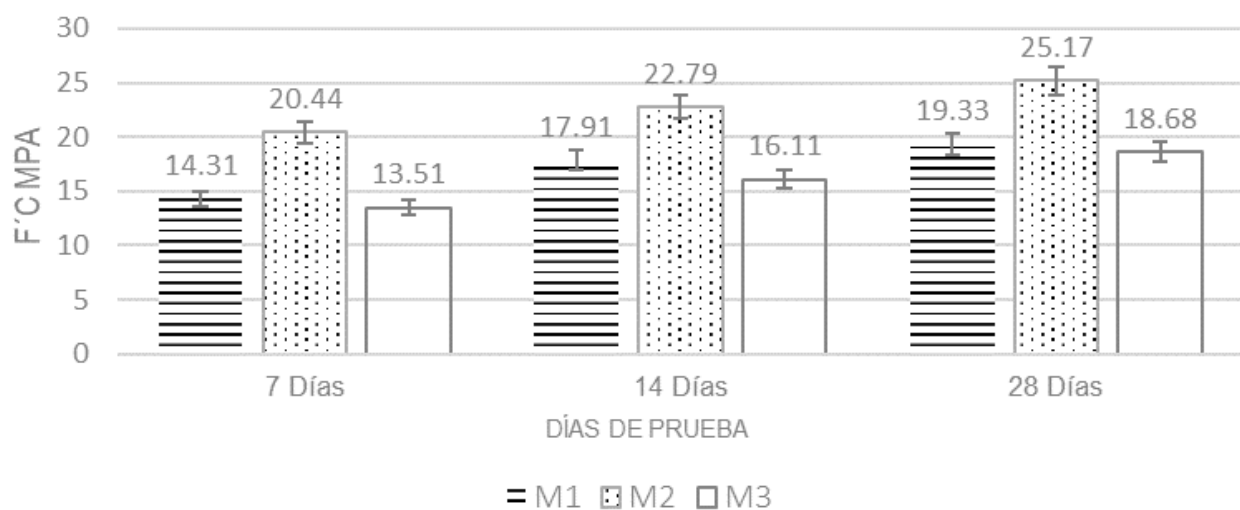
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN MECÁNICA

Los resultados de la gráfica 3 determinan que es posible obtener diseños de mezcla satisfactorios para desempeños mecánicos estructurales para uso en prefabricados de concreto empleando

sustituciones del 100% al obtener 18 MPa a los 28 días. Se observa similitud entre las mezclas M1 y M3 en la evolución de la resistencia a los 7, 14 y 28 días.

GRÁFICA 3
Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días



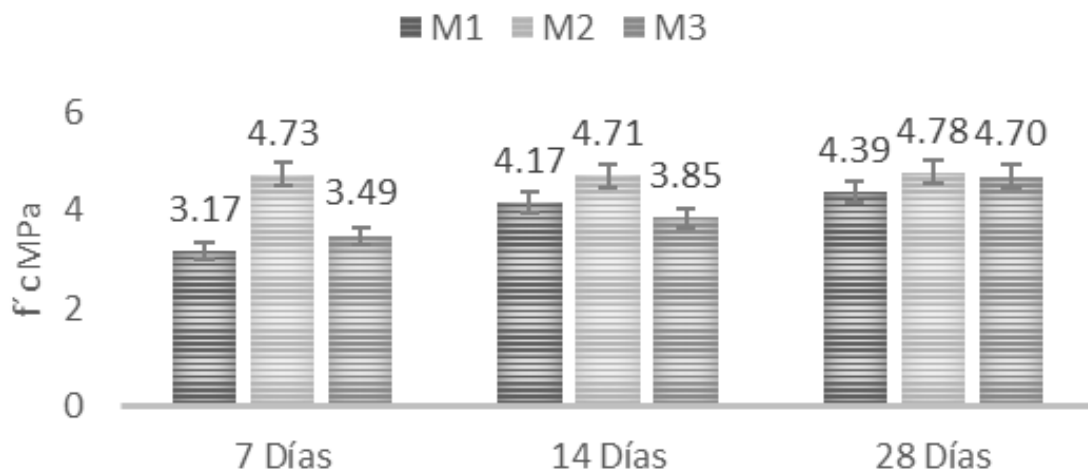
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados en la gráfica 4 de las pruebas de tracción muestran que no existe diferencia significativa entre las resistencias a la tensión obtenidas de las probetas a los 28 días. Pero se destaca que los concretos reciclados (M3) superaron en resistencia a la tracción (4.70 MPa) a la probeta

testigo M1 (4.39 MPa) a los 28 días. El acero de refuerzo mantiene una adherencia similar con las tres mezclas evaluadas, lo que establece la posibilidad de adecuada interoperabilidad del acero de refuerzo con los concretos reciclados en esfuerzos a tracción.

GRÁFICA 4

Comparación de resistencia a tracción para determinar adherencia



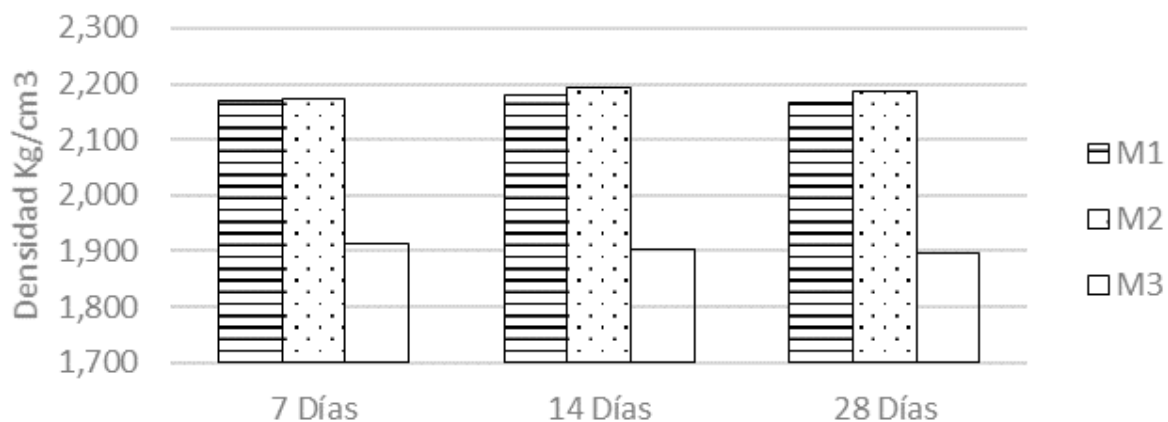
Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 5 se valoró la densidad de las mezclas a distintas edades y se determinó que la mezcla de concreto reciclado M3 resulta ser más liviana, al registrar un promedio de densidad de 1895 kg/cm³, en comparación con los 2165 kg/cm³

de un concreto convencional realizado con agregados naturales M1. Un concreto reciclado es, por tanto, más ligero que un concreto convencional y aporta menor carga a la estructura, lo que permite su aplicación en envolventes arquitectónicas.

GRÁFICA 5

Densidad de las mezclas a distintas edades



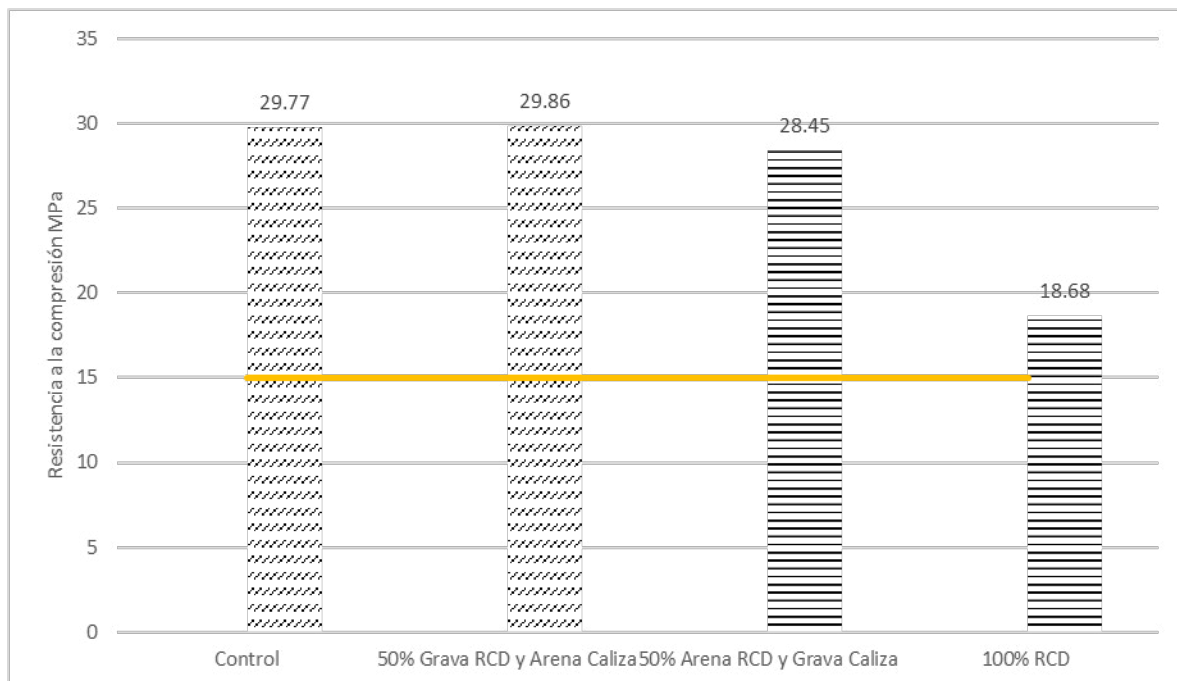
Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 6 se realizó la comparación del desempeño de concretos reciclados empleando sustituciones del 50%, considerando sustituir gravas y arenas recicladas con los agregados triturados de calizas y de río y comparar con la sustitución del 100 % de agregados reciclados. Los resultados demuestran que existe mejor operabilidad entre gravas recicladas y arenas naturales. También se discute que es posible alcanzar

resistencias mecánicas más elevadas con sustituciones del 50%, lo cual abre la posibilidad de uso de los concretos reciclados en viguetas y capa de compresión, así como en de muros de carga y divisorios al emplear sustituciones parciales de agregados reciclados, por superar los 15 MPa que establece la normatividad en prefabricados de concreto. (ONNCCE, 2019)

GRÁFICA 6

Diseños de mezcla combinando agregados naturales con reciclados



Nota: La línea azul expresa la resistencia mínima buscada en bovedillas y muros de acuerdo a las normas NMX-C-406-ONNCCE-2019 y NMX-C-403-ONNCCE-1999.

Fuente: Elaboración propia.

INTEGRACIÓN DE CONCEPTOS

En México se regula la construcción de los prefabricados de concreto bajo las normas NMX-C-406-ONNCCE-2019, además de la NMX-C-403-ONNCCE-1999; para el caso del sistema vigueta y bovedilla se determina una resistencia de 25 MPa para las viguetas, 15 MPa para las bovedillas, de 20MPa para la capa de compresión y para muros de 10 MPa, con refuerzo en los bordes para vivienda de hasta

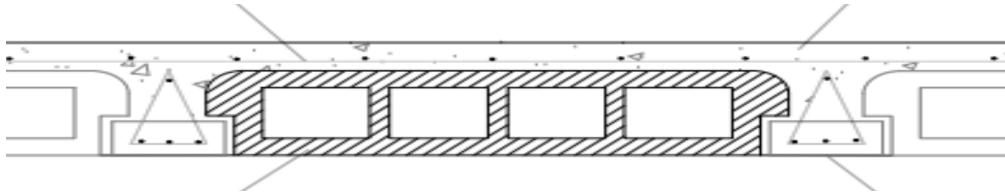
dos niveles (en esta investigación se analizó el uso de muros con resistencia de 15 MPa). Atendiendo a los resultados obtenidos de 18MPa con 100% de sustitución, es posible elaborar muros de concreto reciclado de acuerdo con la norma, considerando también que se consiguieron adecuadas interacciones con los refuerzos verticales en pruebas a tensión, por lo que es posible integrar muros de concretos reciclados con acero de refuerzo. Por tanto, se propone configurar un módulo habitable

de prefabricados de concreto reciclado empleando muros con prefabricados de bovedilla (figura 1). Cabe señalar que, si bien con el sistema de

vigueta y bovedilla es posible la modulación, el sistema requiere una capa de compresión que no permitiría la deconstrucción.

FIGURA 1

Bovedilla



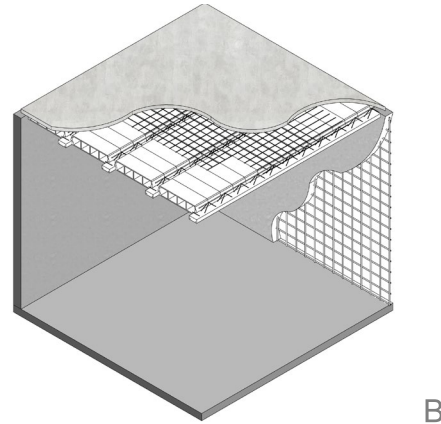
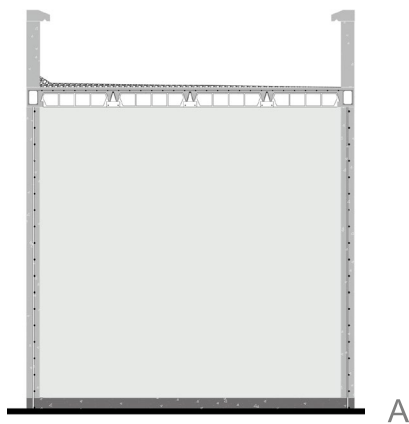
Fuente: Elaboración propia.

En muros se propone un prototipo de concreto reciclado estructural con refuerzos de borde empleando un espesor de 15 cm, armados con varilla de $\frac{1}{2}$ " para resistir 15MPa. En la figura 2 se representa un corte esquemático (figura 2A) del módulo, donde se identifican las piezas y la configuración de componentes. En la figura 2 B se des-

cribe el sistema destacando el uso de la bovedilla y los muros como los elementos prefabricados de concreto reciclado. El prototipo espacial se establece de las siguientes medidas: *altura*: 2.70 m, *ancho*: 3.41 m *longitud*: 13.64 m – 20.46 m, con la posibilidad de configurar una *altura total* de 1 a 2 pisos.

FIGURA 2

(A) Módulo habitable con RCD. (B) Isométrico.



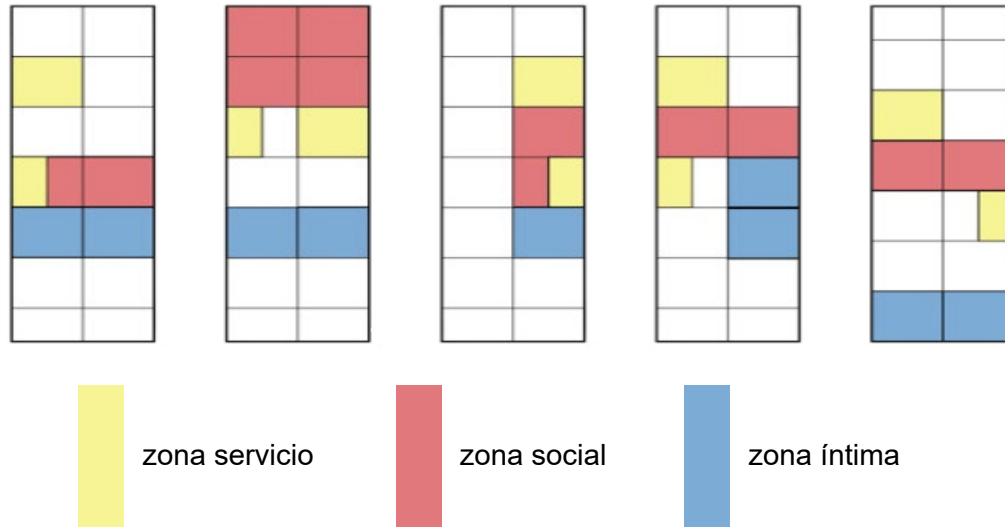
Fuente: Elaboración propia.

Se definió una modulación de 3.41 m x 3.41 m basada en la modulación de vigueta y bovedilla, para configurar una retícula de espacios habita-

bles de concreto reciclado que permita la flexibilidad en la distribución (figura 3).

FIGURA 3

Esquema de distintas posibilidades de distribución por zonas



Fuente: Elaboración propia.

La figura 3 es un esquema que representa un criterio de distribución del módulo propuesto, y establece zonificaciones de espacios para diferenciar el uso. El color rojo se define para zonas íntimas, el color amarillo para zonas de servicio y el color azul para zonas sociales. El propósito de la figura es representar las posibilidades que pueden existir para la configuración de espacios habitables; de este modo el usuario decide sobre

la distribución espacial con opción a crecimiento progresivo.

En la figura 4 se describe una de las posibilidades de distribución espacial para configurar una vivienda que incluya muros prefabricados de concreto reciclado. El fin es poder incluir materia prima reciclada en proyectos modulares destinados a la autoproducción de vivienda.

FIGURA 4
Proyecto modular a base de RCD



Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

La construcción modular da la pauta a incluir residuos de la construcción, lo que lleva a reducir el consumo de materiales y mejorar la calidad de aplicación de recursos primarios reciclados (Lacey *et al.*, 2017; Smith, 2010; Arisya y Suryantini, 2021; Wilson, 2019). Por ello se asocia la modulación a un proceso sustentable porque permite simplificar procesos especializados, lo que facilita el uso final de un prototipo y mejorar la cali-

dad de los componentes de la vivienda. (Miller y Elgard 1998; Smith, 2010).

En la autoproducción de vivienda se debe garantizar la calidad de los materiales y brindar seguridad en la estructura para consolidar espacios habitables. Se demostró que es posible lograr resistencias aptas para ser empleadas en muros al conseguir 18 MPa en concretos reciclados con 100% de sustitución y al obtener adecuado grado de adherencia con el acero de refuerzo, cuando se compararon resultados con probetas testigo. Con

sustituciones del 50% sería posible diseñar prefabricados con mayores prestaciones mecánicas, además de conseguir baja densidad en relación con los concretos convencionales, y definir la posibilidad de desarrollar prototipos de concreto reciclado más livianos. Los diseños de mezcla de concretos reciclados se pueden utilizar siguiendo las recomendaciones del American Concrete Institute (ACI) para que la prefabricación de los prototipos de muros garanticen dimensiones, resistencia mecánica y calidad acorde con los criterios de la construcción modular (Combes y Bellomio 1999).

Los resultados de las pruebas mecánicas empleando sustituciones totales y parciales demuestran el potencial de aplicar concretos reciclados en sistemas constructivos con resistencias diferenciadas, sobre la base de lo obtenido en los resultados a compresión de la gráfica número 6.

Como retos a resolver, se encuentra el tema de durabilidad y de reducción del consumo de agua al fabricar la mezcla. Se debe explorar la porosidad del agregado reciclado al incorporarlo a mezclas, para evitar inadecuadas interacciones del concreto reciclado con el ambiente que propicien afectaciones en el sistema constructivo. Ello se puede solucionar con el uso de aditivos que mejoren la condición inicial de los agregados reciclados.

CONCLUSIONES

Se propone el uso de agregados reciclados con 100% de sustitución para elaborar prefabricados de concreto que sirvan en proyectos de vivienda autoproducida con criterios de modulación. Se presentan las siguientes conclusiones:

Se elaboró un diseño de mezcla para concreto reciclado considerando una sustitución del 100% de agregados y se obtuvieron resistencias mecánicas apropiadas, al superar los 18 MPa, lo que determina la participación de concretos reciclados en los prefabricados de muros.

Los resultados de la interoperabilidad del acero de refuerzo con concretos reciclados al 100% de sustitución presentaron un comportamiento similar al que se da entre concretos convencionales y acero de refuerzo. Se concluye que, al comparar esfuerzos a tracción, no existe diferencia significativa entre las probetas evaluadas.

En la valoración de densidad, las mezclas recicladas resultaron ser más livianas que las mezclas de concreto elaborado con agregados naturales. Se concluye que el concreto reciclado es más liviano que el concreto convencional.

Al realizar sustituciones del 50% de agregados reciclados con agregados naturales es posible mejorar el desempeño mecánico a la compresión. Ello permite el diseño de prototipos con mayores solicitaciones mecánicas.

La construcción modular abre la posibilidad de desarrollar tecnología para la vivienda empleando prefabricados elaborados a partir de materia prima reciclada, lo que, mediante las premisas de calidad en el manejo de materiales, potencializa mejorar la aplicación útil de los concretos reciclados (Keeller y Burke, 2009).

Desarrollar vivienda modular cobra relevancia en asentamientos en zona de riesgo o susceptible ante fenómenos naturales, porque el proceso constructivo modular disminuye el riesgo de pérdidas materiales en espacios habitables, lo que conlleva planeación e involucra la discusión sistémica de los componentes y condicionantes que influyen en la generación de asentamientos humanos resilientes.

Se concluye que mediante la prefabricación es posible diseñar sistemas apropiados para garantizar seguridad con un mínimo de desperdicio, con la posibilidad de personalizar la distribución, y sobre todo para mejorar la calidad de vida, al atender la vulnerabilidad estructural de la autoproducción de vivienda. Se continuarán los experimentos en pruebas mecánicas y de durabilidad a muros de concreto reciclado con sustituciones totales y parciales. Se desarrollarán prototipos tecnológicos de concreto y mortero reciclado enfocados en la vivienda autoproducida, para

fomentar más el uso de los agregados reciclados en la construcción.

AGRADECIMIENTOS

Al CONHACYT, por el financiamiento del proyecto Ciencia de Frontera CF-2023-I-208 Reintegración de residuos de la construcción y demolición RCD, para la generación de un sistema constructivo de vivienda sustentable.

REFERENCIAS

- Abbas, A., Fathifazl, G., Isgor, O. B., Razaqpur, A. G., Fournier, B. & Foo, S. (2009). Durability of Recycled Aggregate Concrete Designed with Equivalent Mortar Volume Method. *Cement and Concrete Composites*, 31(8), 555-563. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.02.012>
- Andreu, G. & Miren, E. (2014). Experimental Analysis of Properties of High Performance Recycled Aggregate Concrete. *Construction and Building Materials*, 52, 227-235. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2013.11.054>.
- Arisya, K. F. and Suryantini R. (2021). Modularity in Design for Disassembly (DfD): Exploring the Strategy for a Better Sustainable Architecture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 738(1), 012024. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/738/1/012024>
- ASTM C-109 (2002). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens, West Conohocken, ASTM International.
- ASTM C-33 (1999). Especificación Estándar para Agregados para Concreto, ASTM International.
- Berredjem, L., Arabi, N. & Molez, L. (2020). Mechanical and Durability Properties of Concrete Based on Recycled Coarse and Fine Aggregates Produced from Demolished Concrete. *Construction and Building Materials*. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118421>.
- Cairns, S. & Jacobs, J. M. (2014). *Buildings must die: A Perverse View of Architecture* (pp. 1885-1960). Cambridge, MA: MIT Press.
- Combes, L. & Bellomio, A. (1999). Creativity and Modularity in Architecture. In *AVOCAD Second International Conference Proceedings* (pp. 160-171). Disponible en: <https://papers.cumincad.org/data/works/att/13ac.content.06957.pdf#page=160>
- Crowther, P. (1999). Design for Disassembly to extend Service Life and increase Sustainability. *Durability of Building Materials and Components 8: Service Life and Asset Management*, 1983-1992. Disponible en: <https://eprints.qut.edu.au/2471/1/Crowther-8dbmc.PDF>
- (2018). Re-valuing Construction Materials and Components through Design for Disassembly. In *Unmaking Waste in Production and Consumption: Towards the Circular Economy* (pp. 309-321). Emerald Publishing Limited.
- Dilbas, H., Çakır, Ö. & Şimşek, M. (2017). Recycled Aggregate Concretes (RACs) for Structural Use: An Evaluation on Elasticity Modulus and Energy Capacities. *International Journal of Civil Engineering*, 15, 247-261. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40999-016-0077-3#citeas~:text=DOI-,https%3A//doi.org/10.1007/s40999%2D016%2D0077%2D3,-Keywords>
- Erdem, S. & Blankson, M. (2014). Environmental Performance and Mechanical Analysis of Concrete Containing Recycled Asphalt Pavement (RAP) and Waste Precast Concrete as Aggregate. *Journal of hazardous materials*, 264, 403-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.11.040>.
- Gershenson, J. K., Prasad, G. J. & Allamneni, S. (1999). Modular Product Design: A Life-cycle View. *Journal of Integrated Design and Process Science*, 3(4), 13-26.
- Gujel, D. A., Kazmierczak, C. S. & Masuero, J. R. (2017). Stress-strain Curve of Concretes with Recycled Concrete Aggregates: Analysis of the NBR 8522 Methodology. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 10(3), 547-567. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S1983-41952017000300002>
- Hegger, M., Fuchs, M., Stark, T. & Zeumer, M. (2012). *Energy Manual: Sustainable Architecture*. Walter de Gruyter.
- José, A. y Tollenaere M. (2005). Métodos modulares y de plataforma para el diseño de familias de productos: análisis de la literatura. *Revista de*

- Fabricación Inteligente* 16(3): 371-390. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10845-005-7030-7>
- Keeler, M. & Vaidya, P. (2016). *Fundamentals of Integrated Design for Sustainable Building*. John Wiley & Sons.
- Kieran, S. & Timberlake, J. (2008). *Loblolly House: Elements of a New Architecture*. Princeton architectural press.
- Kou, S. (2006). Reusing Recycled Aggregates in Structural Concrete.
- Kwan, W. H., M. Ramli, K. J. Kam, M. Z. Sulieman (2012). Influence of the amount of Recycled Coarse Aggregate in Concrete Design and Durability Properties, *Construction and Building Materials* 26, 565-573 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.059>
- Lacey, Andrew, Wensu Chen, Hong Hao and Kai-ming Bi (2017). Structural Response of Modular Buildings – An Overview. *Journal of Building Engineering*, 6: 45-56. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.12.008>
- Malešev, M., Radonjanin, V. & Marinković, S. (2010). Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production. *Sustainability*, 2(5), 1204-1225.
- Martínez-Molina, W., Torres-Acosta, A. A., Alonso-Guzmán, E. M., Chávez-García, H. L., Hernández-Barrios, H., Lara-Gómez, C. & González-Valdez, F. M. (2015). Concreto reciclado: una revisión. *Revista Alconpat*, 5(3), 235-248. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s2007-68352015000300235&script=sci_arttext
- McDonough, W. & Braungart, M. (2010). *Cradle to Cradle: Remaking the Way we make Things*. North Point Press.
- Miller, Thomas y Per Elgård (1998). Definición de módulos, modularidad y modularización. *Actas del 13º Seminario de Investigación IPS* 19.
- NMX-C-077-ONNCCE-2019 (2019). Agregados para concreto – Análisis granulométrico, México, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.
- NMX-C-164-ONNCCE-2014 (2014). Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado grueso, CDMX, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.
- NMX-C-165-ONNCCE-2014 (2014). Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado fino, CDMX, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.
- NMX-C-406-ONNCCE-2019 (2019). Industria de la Construcción-Componentes Estructurales Prefabricados de Concreto para sistemas de Losas-especificaciones y Métodos de ensayo. Organismo Nacional de Normalización y certificación de la Construcción y Edificación,
- NMX-C-403-ONNCCE-1999 (2017). Industria de la Construcción – Concreto Hidráulico para uso estructural-, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.
- NMX-C-414-ONNCCE-2017 (2017). Industria de la Construcción - Cementantes Hidráulicos - Especificaciones y Métodos de Ensayo, México, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.
- Otsuki, N., Miyazato, S. I. & Yodsudjai, W. (2003). Influence of Recycled Aggregate on Interfacial Transition Zone, Strength, Chloride Penetration and Carbonation of Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 15(5), 443-451.
- Pedro, D., Brito, J. & Evangelista, L. (2017a). Mechanical Characterization of High-performance Concrete Prepared with Recycled Aggregates and Silica Fume from Precast Industry. *Journal of Cleaner Production*, 164, 939-949. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.06.249>.
- , ———, ——— (2017b). Structural Concrete with Simultaneous Incorporation of Fine and Coarse Recycled Concrete Aggregates: Mechanical, Durability and Long-term Properties. *Construction and Building Materials*, 154, 294-309. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.07.215>.
- , ———, ——— (2018). Durability Performance of High-performance Concrete Made with Recycled Aggregates, Fly Ash and Densified Silica Fume. Cement and Concrete Composites. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2018.07.002>.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNMUA, 2023). Informe sobre la brecha de emisiones 2023. Disponible en: <https://www.unep.org/es/resources/informe-so>

- bre-la-brecha-de-emisiones-2023. Consultado: 5 de julio de 2024.
- Ribeirinho, Maria João, Jan Mischke, Gernot Strube, Erik Sjödin, José Luis Blanco, Rob Palter, Jona Biörck, David Rockhill y Timmy Andersson (2020). La próxima normalidad en la construcción: cómo la disrupción está remodelando el ecosistema más grande del mundo. *McKinsey y compañía*. Disponible en: <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/the-next-normal-in-construction-how-disruption-is-reshaping-the-worlds-largest-ecosystem>. Consultado: 1 de julio de 2024.
- Singh, Manav Mahan, Anil Sawhney and André Borrmann (2015). Modular Coordination and BIM: Development of Rule Based Smart Building Components. *Procedia Engineering* 123: 519–527. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.104>
- Smith, R. E. (2010). *Arquitectura prefabricada: una guía para el diseño y la construcción modulares*. Ney Jersey: John Wiley & Sons.
- Staib, G., Dörrhöfer, A. & Rosenthal, M. (2008). *Components and Systems: Modular Construction-design, Structure, New Technologies*. De Gruyter.
- Taalman, Laura and Eugénie Hunsicker (2002). Simplicity is Not Simple. *Math Horizons* 10(1): 5–9. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10724117.2002.11974601>
- Tibbetts, C. M., Perry, M. C., Ferraro, C. C. & Hamilton, H. R. (2018). Aggregate Correction Factors for Concrete Elastic Modulus Prediction. *ACI Structural Journal*, 115(4). Disponible en: <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal.aspx?m=details&i=51701914#:~:text=DOI%3A%2010.14359/51701914>
- Wilson, James (2019). Design for Modular Construction: An Introduction for Architects. *AIA American Institute of Architects (AIA)*. Disponible en: <https://www.aia.org/resources/6119840-modular-and-off-site-construction-guide>. Consultado: 3 de enero de 2023.

Infraestructura verde para prevención de inundaciones en conjuntos habitacionales de interés social en zona árida

Green infrastructure as a flood prevention measure in social interest housing complexes in arid area

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i17.318>

ANA WALESKA ARVIZU JUVERA

Universidad de Sonora, México. ORCID: 0009-0003-2793-1817

Correo electrónico: a222230102@unison.mx

JUAN PEDRO AYALA MORENO*

Universidad de Sonora, México. ORCID: 0000-0002-7708-4113

Correo electrónico: juan.ayala@unison.mx

*Autor de correspondencia

HÉCTOR MANUEL GUZMÁN GRIJALVA

Universidad de Sonora, México. ORCID: 0000-0001-5219-4757

Correo electrónico: hector.guzman@unison.mx

Recepción: 18 de diciembre de 2024 Aceptación: 30 de enero de 2025

RESUMEN

1. **Objetivo(s):** Determinar la eficacia de la integración de infraestructura verde (IV) para la mitigación de inundaciones en conjuntos habitacionales de interés social ubicados en la zona urbana de la ciudad de Hermosillo, Sonora.
2. **Metodología:** Para la realización del diagnóstico se procedió a calcular la eficiencia de la incorporación de técnicas de IV propuestas por el IMPLAN (2019) en su *Manual de lineamientos de diseño de infraestructura verde para municipios mexicanos*, y se incorporaron las técnicas jardín de lluvia, jardín microcuenca y concreto permeable en nueve escenarios distintos.
3. **Resultados:** Para los nueve escenarios se obtuvieron porcentajes promedio de reducción de escurrimiento que van desde el 24.56% hasta más del 100%.
4. **Limitaciones/implicaciones:** El proyecto de investigación se efectúa específicamente en las

áreas comunes de viviendas de interés social ubicadas dentro de una zona árida; los tipos y las dimensiones de las superficies de interés se determinaron por medio de imágenes satelitales, sin considerar las pendientes superficiales para la selección de las técnicas de IV.

5. **Originalidad/valor:** Este trabajo busca contribuir a la sustentabilidad de las ciudades a través de la IV, analizando las posibles mejoras resultantes de llevar a cabo modificaciones en las infraestructuras que componen los conjuntos habitacionales de interés social, con el fin de reducir los volúmenes de escorrentías de aguas pluviales.

6. **Hallazgos / Conclusiones:** Se ha demostrado en este estudio que la aplicación de técnicas de IV puede potencialmente contribuir a reducir el escurrimiento ya sea utilizando una sola técnica o una combinación de ellas.

Palabras clave: infraestructura verde, inundación, aguas pluviales, red de saneamiento, drenaje sostenible



ABSTRACT

1. *Objective(s)*: Diagnose the effectiveness of the integration of green infrastructure (GI) for flood mitigation in low-income housing complexes located in the urban area of the city of Hermosillo, Sonora.
2. *Methodology*: For the diagnosis, the efficiency of the incorporation of GI techniques proposed by IMPLAN (2019) in its *Manual of Green Infrastructure Design Guidelines for Mexican Municipalities* was calculated, incorporating the techniques: rain garden, micro-basin garden and permeable concrete in nine different scenarios.
3. *Results*: For the nine scenarios, average runoff reduction percentages were obtained ranging from 24.56% to more than 100%.
4. *Limitations/implications*: The research project is carried out specifically in the common areas of low-income housing located within an arid area, considering that the types of soil and the dimensions of the surfaces of interest were determined by satellite images, without considering the surface slopes for the selection of GI techniques.
5. *Originality/value*: This work seeks to contribute to the sustainability of cities through green infrastructure, analyzing the possible improvements resulting from modifications in the infrastructures that compose social interest housing complexes in order to reduce the volumes of stormwater runoff.
6. *Findings/Conclusions*: It has been demonstrated in this study that the application of green infrastructure techniques can potentially contribute to reducing runoff, either by using a single technique or a combination of them.

Keywords: green infrastructure, flooding, stormwater, sewage system, sustainable drainage

INTRODUCCIÓN

Un sistema de drenaje pluvial consiste en una infraestructura diseñada para la recolección y la redirección de aguas de lluvia a través de un sistema de tuberías, recolectores e instalaciones complementarias que evitan la acumulación de agua dentro del entorno urbano (Valdivielso, s/f). Sin embargo, el acelerado crecimiento poblacional que repercute en la constante urbanización de las ciudades construidas, principalmente en infraestructura gris, ha impactado directamente en la hidrología local, debido a la extensa impermeabilización de las superficies, lo que ocasiona al aumento de la escorrentía de agua de lluvia que lleva a la generación de inundaciones localizadas (Abellán, 2016).

La urbanización y la industrialización han impactado en los recursos hídricos subterráneos de las zonas urbanas. La urbanización, al modificar las condiciones del terreno, no solamente altera su geomorfología, sino además provoca que la infraestructura hidráulica sea insuficiente para captar los volúmenes de escorrentía, debido a que implica la impermeabilización de las superficies (Bigurra-Alzati, Ortiz-Gómez, Vázquez-Rodríguez, López-León & Lizárraga-Mendiola, 2020). Las carencias y los problemas que surgen del uso de métodos tradicionales de drenaje urbano pueden solucionarse mediante la implementación de drenajes sostenibles basados en el uso de Infraestructura Verde (IV), los cuales se han popularizado en ciudades alrededor del mundo, con el fin de mejorar la salud de sus ecosistemas urbanos y gestionar los sistemas de manejo de aguas pluviales, lo que contribuye al propósito del Objetivo del Desarrollo Sustentable 11, sobre ciudades y comunidades sostenibles, de la Agenda 2030 (Suppakittpaisarn, Jiang & Sullivan, 2017; Castro Fresno, Rodríguez Bayón, Rodríguez Hernández & Muñoz, 2005; Naciones Unidas, 2015).

La gestión sostenible de las aguas pluviales surge de la necesidad de reducir la cantidad de superficies impermeables que provocan daños a las infraestructuras y los ciudadanos y entorpecen el sistema hidrológico local. La IV se encarga de integrar el capital natural existente incorporando

sistemas basados en la naturaleza para la gestión hídrica. El concepto de IV surge con la intención de ampliar, integrar e interconectar el capital natural ya existente para potenciar la calidad ambiental y de los servicios ecosistémicos empleando métodos e instrumentos de intervención como las llamadas “soluciones basadas en la naturaleza” (Fazeli Tello & Del Moral Ituarte, 2021). Las estrategias que encuadran dentro del enfoque propio de la IV son aquellas que recurren al uso de plantas (vegetación) y de sistemas de suelos que originan una reducción en el flujo a través de los sistemas pluviales de alcantarillado; ejemplo de ello son el pavimento permeable, los sistemas de recolección y reutilización de aguas pluviales, y el paisajismo para infiltrar o evapotranspirar aguas pluviales (US Government, 2019).

La implementación de técnicas de IV en el diseño de los espacios urbanos, a saber, parques, jardineras, tejados verdes, cementerios y corredores ecológicos, entre otras, se caracteriza por su contribución a un mejor funcionamiento de las ciudades, al facilitar el flujo de bienes ecosistémicos, ofrecer una opción sustentable ante problemas de inundaciones y escasez de agua, e incrementar las tasas de infiltración y retención del agua. Todo ello permite crear entornos urbanos más saludables mediante el aprovechamiento del agua de lluvia (Balmaseda Ulacia, 2014; De Lucio, 2016; Calaza, 2019), y el logro de la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático (Rivera Torres, Arredondo Vega & Padrés León, 2019).

Existen estudios sobre IV en México, uno de ellos realizado en el estado de Hidalgo, sobre la eficiencia del uso de trincheras de infiltración en zonas semiáridas, donde se realizó el diseño de una trinchera que, de acuerdo con su capacidad (2.91 m³), demostró ser eficiente para controlar eventos de lluvia comunes en el área de estudio, con intensidades de 2.50 a 14.58 mm/h, por lo que resultó una opción adecuada para la gestión de escorrentías (Lizárraga-Mendiola *et al.*, 2017). Otro caso es el de la ciudad de Pánuco, Zacatecas, donde se logró la retención de hasta 212 toneladas de suelo y la rehabilitación de sitios de alto riesgo de erosión hídrica, gracias a la aplicación de pre-

sas filtrantes que ayudaron a mitigar la pérdida de suelo ocasionada por el sobrepastoreo (Salinas González *et al.*, 2011).

También en el estado de Hidalgo, Bigurra-Alzati *et al.* (2020) evaluaron teóricamente la efectividad de estrategias resilientes, como la IV, a través de tres escenarios diferentes. Ellos proponen estrategias como captación de agua de lluvia de las azoteas, zanjas de infiltración y sistemas de biorretención, y con ello reducen 94.1 % el volumen de escurrimiento. Zúñiga-Estrada *et al.* (2022) aplicaron un modelo de gestión del agua en una microcuenca hidrográfica situada en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Las estrategias de IV que utilizaron fueron cisternas para captar el agua de lluvia de las azoteas, pavimento permeable y zanjas de infiltración. Para los eventos de lluvia que utilizaron (9 mm, 30 mm y 39 mm) obtuvieron una reducción del 100% del volumen de escurrimiento.

La IV se constituye, por tanto, en una herramienta que puede aportar beneficios ecológicos, económicos y sociales a través de la implementación de medidas o soluciones naturales (Comisión Europea, 2013). Algunas particularidades de este concepto son la transversalidad y la capacidad de adaptación a diferentes problemáticas asociadas a la urbanización, como la adaptación al cambio climático, la conservación de la biodiversidad y la promoción de la economía verde (Fazeli Tello & Del Moral Ituarte, 2021; Pauleit *et al.*, 2019). Si bien es común la comparación de la IV con la infraestructura gris (IG) la cual corresponde a la rama convencional de la ingeniería civil—, la IV se considera multifuncional, toda vez que aporta alternativas que ofrecen opciones más sostenibles desde una perspectiva tanto económica como social (Valladares Ros, Gil Hernández, & Forner Sales, 2017).

Este estudio tiene como objetivo determinar la eficacia de la integración de IV para la mitigación de inundaciones en conjuntos habitacionales de interés social ubicados en la zona urbana de la ciudad de Hermosillo, Sonora, ciudad ubicada en una zona árida del noroeste de México. Esto se realizó a partir de escenarios de adaptación y propuestas de modificación de las infraestructu-

ras existentes a las técnicas de IV y sus beneficios calculables para la prevención de riesgos, tomando en consideración el diseño de los espacios urbanos que conforman las áreas comunes de los conjuntos habitacionales del área de estudio.

METODOLOGÍA

En este estudio se define la unidad de análisis como los conjuntos habitacionales de interés social ubicados en el centro de población de la ciudad de Hermosillo, Sonora. De acuerdo con las características que se describen en el Código de Edificación de Vivienda (Comisión Nacional

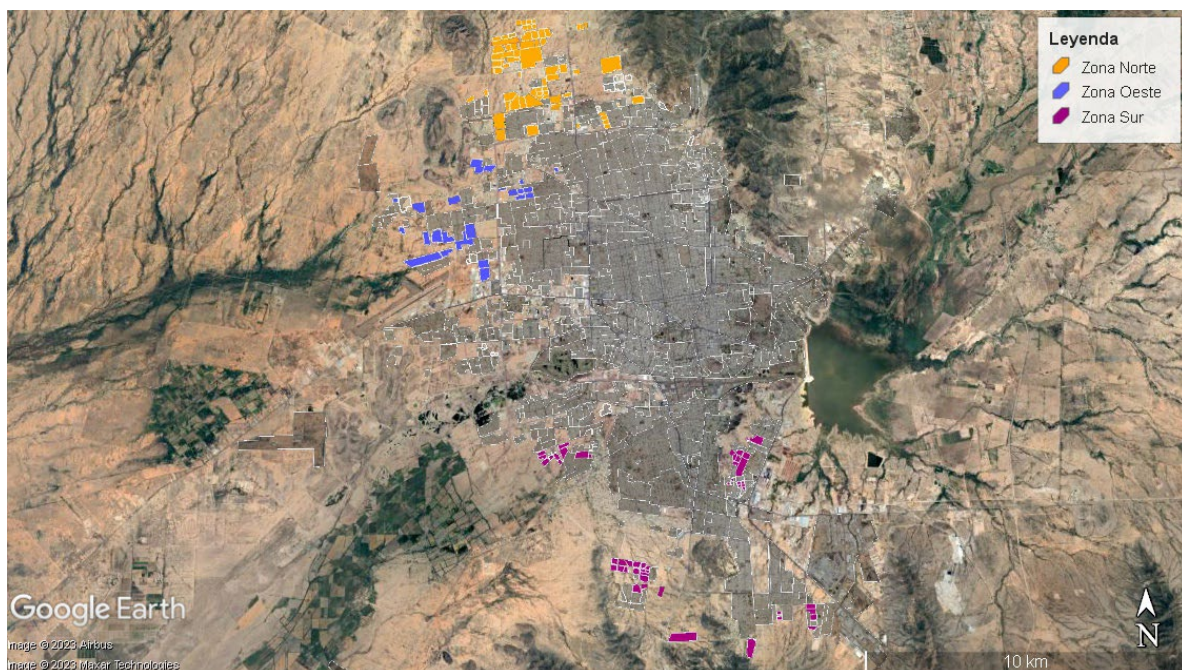
de Vivienda [CONAVI], 2017), las viviendas de tipo interés social se dividen en económica, popular y tradicional, y cuentan con 40, 50 y 71 m² de superficie construida, respectivamente.

LOCALIZACIÓN DE LA POBLACIÓN Y SELECCIÓN DE MUESTRA

Primeramente, se procedió a realizar un barrido de la zona urbana de la ciudad de Hermosillo, utilizando la herramienta Google Earth Pro, para localizar la población de estudio, definida como aquellos conjuntos habitacionales que reúnen las características que permiten que sean catalogados como de interés social.

FIGURA 1

Localización de conjuntos habitacionales de interés social



Fuente: Elaboración propia basada en imágenes satelitales de Google Earth Pro.

Una vez localizados los elementos que integran la población de estudio, los cuales ascienden a una cantidad de 140, se realizó un muestreo por cuotas, también llamado método empírico (Martínez Arias, Castellanos López & Chacón Gómez, 2014). Para ello se utilizó un tamaño de muestra

equivalente al 15% de la cantidad total de elementos que integran la población. Debido a la dispersión espacial de los elementos (figura 1), el muestreo se realizó de manera estratificada (Pérez, 2010), como se muestra en la tabla 1. En los casos en que la cantidad de elementos de un estrato conside-

rados para la muestra resultara ser inferior a uno, se aplicó el criterio de asignar un elemento de tales estratos, con la finalidad de que estuvieran representadas en la muestra final. Posteriormente

a la determinación de la cantidad de elementos que integrarían las muestras de cada estrato, se realizó una selección aleatoria de estos por medio del software Matlab (Moler, 1984).

TABLA 1
Selección de muestra

Estratos	Cantidad de elementos	Porcentaje respecto de la población	Cantidad de elementos a muestrear por estrato
Norte 1	27	19.29	4
Norte 2	30	21.43	4
Norte 3	8	5.71	1
Norte 4	3	2.14	1
Oeste 1	11	7.86	2
Oeste 2	11	7.86	2
Oeste 3	2	1.43	1
Sur 1	9	6.43	1
Sur 2	17	12.14	2
Sur 3	7	5.00	1
Sur 4	15	10.71	2
Total	140	100	21

Fuente: Elaboración propia.

CLASIFICACIÓN DE LAS SUPERFICIES

A continuación se realizó la delimitación y la clasificación de las superficies permeables y no permeables (Liu, Chen & Peng, 2015) de las áreas de uso común de cada elemento de la muestra mediante identificación cartográfica con la ayuda de imágenes satelitales, utilizando el Soft-

ware *Google Earth Pro*. Lo anterior se realizó sin considerar las superficies correspondientes a los predios donde se hallan ubicadas viviendas, y en los cuales las superficies se clasificaron de acuerdo con el tipo de material utilizado en su construcción o tipo de suelo, como se muestra en la tabla 2.

TABLA 2
Clasificación de composición de las superficies que conforman las áreas comunes

Superficie	Tipo de superficie					
	Asfalto	Concreto	Grava	Pasto	Suelo sin vegetación	Suelo con vegetación
Parques/ áreas de descanso		X	X	X	X	X
Calle	X					
Banqueta		X				
Arriate				X	X	X
Camellón		X		X	X	X

Fuente: Elaboración propia.

COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

En virtud de la presencia de diferentes tipos de superficies y de que cada una de ellas cuenta con un coeficiente de escurrimiento específico, se realizó una revisión bibliográfica de diferentes fuentes, a fin de determinar el coeficiente correspondiente.

Se procedió a calcular el punto medio entre los valores mínimo y máximo de los datos recopilados para los coeficientes de escurrimiento, como se muestra en la tabla 3.

TABLA 3

Coeficientes de escurrimiento de las superficies de interés considerados para los cálculos

Tipo de superficie	Coeficientes de escurrimiento							
	Secretaría de Comercio y Fomento a la Industria	Aparicio	Thompson	The CivilWeb Foundation Design Spreadsheet Suite	Dirección de Vialidad Gobierno de Chile	State Water Resources Control Board CA USA Government	IMPLAN	Mediana
Grava				0.5 – 0.6			0.2 – 0.75	0.48
Concreto	0.9	0.7 – 0.95	0.8 – 0.95	0.7 – 0.95	0.8 – 0.95	0.8 – 0.95		0.83
Asfalto	0.85	0.7 – 0.95	0.7 – 0.95	0.7 – 0.95	0.7 – 0.95	0.7 – 0.95		0.83
Pasto				0.32 – 0.62			0.05 – 0.35	0.34
Suelo con vegetación					0.15 – 0.20		0.10 – 0.60	0.35
Suelo sin vegetación		0.05 – 0.10	0.05 – 0.10	0.5		0.05 – 0.10	0.2 – 0.75	0.40

Fuentes: Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 2013; Aparicio Mijares, 1992; Thompson, 2007; The CivilWeb Foundation Design Spreadsheet Suite, 2023; Dirección de Vialidad Gobierno de Chile, 2018; State Water Resources Control Board CA USA Government, 2011; Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo [IMPLAN], 2019).

Es importante señalar que se registró un porcentaje no significativo de pasto sintético en algunos conjuntos habitacionales. Sin embargo, debido a que este está diseñado como un material 100% permeable (Synthetic Turf Council, 2017) su coeficiente de escurrimiento dependerá de la composición del suelo sobre el que se encuentre colocado. Debido a esto se decidió considerar esta superficie dentro de la categoría designada como suelo sin vegetación.

DATOS METEOROLÓGICOS

En la determinación de la magnitud del evento de lluvia más copioso se consideró el promedio del máximo valor de precipitación de cada mes entre los años 2002 y 2022, registrado en la esta-

ción Observatorio (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2023); se obtuvo cantidad de 55.5 mm de lluvia, lo cual se utilizará en el cálculo del acumulado de precipitaciones.

El volumen promedio de escurrimiento correspondiente a cada tipo de superficie se calculó utilizando la expresión que estima el volumen de escurrimiento de agua de lluvia Ec. 1 (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 2013), la cual relaciona la intensidad promedio de las precipitaciones durante un periodo determinado —en este caso de 24 horas— con el coeficiente de escurrimiento y las dimensiones del área o superficie de drenaje, para posteriormente calcular el escurrimiento total:

(Ec. 1)

$$V_A = \frac{(\bar{p} * A * k_e)}{1000} V_A = \frac{(\bar{p} * A * k_e)}{1000}$$

Donde:

V_A : Volumen promedio de escurrimiento en m^3

$\bar{p}$: Precipitación promedio en mm

A: Área de captación en m^2

k_e : coeficiente de escurrimiento de acuerdo con el material de las instalaciones de captación

Una vez determinado el escurrimiento total de cada elemento de la muestra, se procedió a elaborar propuestas de técnicas de IV para su implementación según las características de las superficies. Para ello se calcularon las dimensiones que deberían tener, utilizando las ecuaciones que se indican en el *Manual de lineamientos de diseño de infraestructura verde para los municipios mexicanos* (Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo [IMPLAN], 2019), según el tipo de técnica de que se trate, a fin de satisfacer las necesidades de infiltración de agua como medida de prevención de inundaciones.

Para la selección de las técnicas de IV a aplicar se realizó primero una revisión de todas las técnicas que contiene el *Manual de lineamientos de diseño de infraestructura verde para los municipios mexicanos* (Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo [IMPLAN], 2019). Los criterios de selección seguidos son: que sean técnicas que se apliquen en áreas públicas en zonas urbanas, que no requieran grandes cantidades de espacio para su aplicación, que su principal beneficio sea disminuir los escurrimientos pluviales, y que sean de bajo mantenimiento. Se consideraron, además, las características espaciales de las áreas donde se pretende aplicar dichas técnicas. Con estos criterios se seleccionaron las técnicas de jardín de lluvia y jardín microcuenca, las cuales pueden ser introducidas en espacios reducidos, no se requiere de conocimientos específicos para su aplicación y son de bajo mantenimiento. Por otra parte, también se consideró la aplicación de la técnica de concreto permeable dentro de las áreas destinadas a implementar técnicas de IV que, aunque su aplicación implique mayor área,

al aplicarse en calles y banquetas para reducir el escurrimiento no se interfiere con la función principal de estos espacios.

TÉCNICAS DE IV

JARDÍN MICROCUENCA

El jardín microcuenca, también conocido como canal vegetado, franja de filtrado o franja de contención, es una técnica de muy bajo costo y fácil de construir. Este tipo de jardín cuenta con cavidades que permiten la captación del agua de lluvia a la microcuenca, la cual puede construirse en espacios delimitados o longitudinalmente en forma de canales o arroyos (Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo [IMPLAN], 2019), a los que se recomienda se incorporen elementos que enriquezcan la biodiversidad, de tipo nativo (Sañudo-Fontaneda *et al.*, 2020).

El jardín microcuenca es normalmente utilizado a lo largo de camellones, por lo cual primeramente se calcula el ancho transversal del canal de la microcuenca y su longitud para obtener el área total del canal. Posteriormente al cálculo del área de la microcuenca se propone la profundidad que tendrá el canal, la cual se recomienda sea de un mínimo de 10 cm. Primeramente se deberá calcular o determinar la lámina de precipitación en mm para posteriormente determinar el volumen de precipitación [Ec. 2] (Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo [IMPLAN], 2019).

(Ec. 2)

$$V = A * h * f$$

V = volumen de precipitación en m^3

A = área de captación en m^2

h = lámina de lluvia en mm

f = factor de conversión (1 m = 1,000 mm)

Para determinar la capacidad de la cuenca es necesario determinar su volumen:

(Ec. 3)

$$V = A \times H$$

Donde:

V = volumen o capacidad de la cuenca en m³

A = área de captación m²

H = profundidad del canal en m (1 m = 100 cm)

Una vez determinada la capacidad de la cuenca se le resta el volumen de precipitación, a fin de determinar si el canal tendrá la capacidad de captar la totalidad del precipitado (Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo [IMPLAN], 2019).

JARDÍN DE LLUVIA

El jardín de lluvia es una técnica pasiva que cuenta con una depresión poco profunda posicionada a un nivel inferior del de las superficies adyacentes, la cual recibe las aguas pluviales de las superficies impermeables cercanas para su recolección e infiltración (American Rivers, 2020; Dussaillant, Wu & Potter, 2004).

Para este caso se comienza calculando el área del jardín; para los fines de este estudio se tomarán en cuenta las superficies de los tipos de suelo con pasto, con vegetación y sin vegetación y se considerará también la lámina de precipitación para calcular el volumen de precipitación esperado [Ec. 2] y posteriormente calcular el volumen de captación de la microcuenca [Ec. 3]. Además, se realizarán los cálculos correspondientes a las capas de sustrato [Ec. 4] y filtrante [Ec. 5], considerando el 5% de volumen de vacíos para la capa de sustrato y el 40% para la capa drenante (roca/grava) de la siguiente manera (Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo [IMPLAN], 2019):

a. Volumen de la capa de sustrato:

Se multiplica el área del jardín por la profundidad de la capa de sustrato (50 centímetros) por el porcentaje de vacíos (5% para tierra)

(Ec.4)

$$Vs = A \times Ps$$

Donde:

Vs = volumen de la capa de sustrato en m³

A = área del jardín en m²

Ps = profundidad de la capa de sustrato en m (1 m = 100 cm)

b. Volumen de la capa filtrante:

Se multiplica el área del jardín por la profundidad de la capa filtrante (40 centímetros) por el porcentaje de vacíos (40% para grava)

(Ec. 5)

$$Vf = A \times Pf$$

Donde:

Vf = volumen de capa filtrante en m³

A = área del jardín en m²

Pf = profundidad de la capa filtrante en m (1m = 100 cm)

c. Capacidad total del jardín de lluvia

Por último, se suman los volúmenes de la microcuenca y de las capas de sustrato y filtrante para la obtención de volumen de captación total (Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo [IMPLAN], 2019).

CONCRETO PERMEABLE

El pavimento/concreto permeable es una de las técnicas más novedosas y utilizadas para la disminución de escorrentías superficiales. Para el diseño del tipo de pavimento permeable a implementar, Borgwardt (2006) argumenta que se deben considerar el diseño de tormenta, el volumen de entrada hacia las alcantarillas y la capacidad de infiltración del pavimento permeable.

Para el proceso de determinación del volumen de infiltración de agua pluvial en concreto permeable se procede a calcular la capacidad de infiltración mediante el producto de una ecuación sencilla que multiplica el valor del volumen de precipitación por el coeficiente de escurrimiento del concreto permeable, como se muestra en la

siguiente ecuación [Ec. 6] (Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo [IMPLAN], 2019):

(Ec. 6)

$$Ci = V \times Ce$$

Donde:

Ci= capacidad de infiltración en m³

V= volumen de precipitación en m³ (Ec. 2)

Ce= coeficiente de escurrimiento

DESARROLLO

DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS SUPERFICIES

Para la caracterización de las superficies se delimitaron todos los espacios que conforman las áreas comunes de los conjuntos habitacionales de interés social, tales como banquetas, calles, áreas verdes, camellones y arriates. Se midieron y clasificaron las áreas comunes según el tipo de suelo o material en cada uno de los conjuntos habitacionales de la muestra. En la tabla 4 se presentan el área total y los porcentajes según el tipo de suelo o material.

TABLA 4

Composición de los conjuntos habitacionales de interés social según el tipo de superficie.

Estrato	Nombre del conjunto habitacional	Superficie total de áreas comunes (m ²)	Distribución porcentual según el tipo de superficie (%)					
			Asfalto	Concreto	Grava	Pasto	Suelo con vegetación	Suelo sin vegetación
Norte 1	Natura Marmolina San Rosendo	9352.10	56.16	34.28	0.30	0.00	0.19	9.08
	San Rosendo	6266.37	61.96	19.94	6.53	0.00	1.89	9.68
	Puerta del Rey Secc. Senda	14624.08	66.66	21.86	0.00	0.00	0.90	10.57
	Puerta del Rey Secc. Altadena	51314.57	70.74	19.82	0.00	0.00	0.69	8.75
Norte 2	Privadas del Real Secc. II	26877.70	66.07	23.05	0.00	0.04	1.92	8.91
	Romanza Residencial	30040.40	67.01	23.14	0.00	0.00	0.60	9.26
	Privadas del Bosque Privadas Nogales	10258.95	67.34	22.46	0.00	0.00	0.30	9.91
	Pueblo Alegre	29875.52	66.34	24.55	0.00	0.04	0.74	8.33
Norte 3	San Sebastián Secc. villa Bonita	9121.54	55.00	25.51	0.00	0.14	1.53	17.81
Norte 4	Montalbán Residencial	7934.12	65.38	23.50	3.44	0.43	0.28	6.97
Oeste 1	Floresta Secc. Villa Ciruelos	14682.62	70.55	22.79	0.00	0.16	0.13	6.39
	Floresta Secc. Villa Cipreses	12944.40	70.69	22.80	0.00	0.13	0.22	6.16
	Puerta Real Residencial Etapa VII	35833.90	68.50	22.38	0.87	0.42	0.57	7.26
Oeste 2	Puerta Real Residencial Etapa III	56510.05	68.25	20.15	1.81	0.07	1.11	8.60
Oeste 3	Casa Bonita Residencial	45366.45	70.75	19.45	0.51	0.09	0.37	8.83

Estrato	Nombre del conjunto habitacional	Superficie total de áreas comunes (m ²)	Distribución porcentual según el tipo de superficie (%)					
			Asfalto	Concreto	Grava	Pasto	Suelo con vegetación	Suelo sin vegetación
Sur 1	Privada Zaires	2354.40	65.71	21.94	0.00	1.00	0.59	10.76
	Cerrada Villa Alcalá	11957.00	66.98	23.38	0.00	0.13	0.28	9.23
Sur 2	Cerrada Quinta Macuzan	7751.30	67.51	20.64	0.00	0.54	0.45	10.86
Sur 3	Cerrada Playa del Sol	11001.75	63.26	23.00	3.01	0.22	1.18	9.32
	Urbi Villa del Rey Secc. Castaños II	7880.20	68.79	21.00	1.17	0.20	0.41	8.43
Sur 4	Urbi Villa del Rey Secc. Manzanos II	8115.40	66.71	21.17	0.00	0.19	0.57	11.35
Porcentaje promedio de composición de las superficies			66.21	22.70	0.84	0.18	0.71	9.36

Nota: La superficie total corresponde a la suma de las superficies consideradas como áreas comunes.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 4, el porcentaje promedio de composición de las superficies correspondientes a grava (0.84%), pasto (0.18%), suelo sin vegetación (9.36%) y suelo con vegetación (0.71%); en conjunto, representan un porcentaje promedio de 11.09% del total de las áreas comunes. Dichos tipos de superficies se concentran principalmente en áreas verdes, como parques y áreas recreativas y de descanso. Sin embargo, se observa que el tipo de superficie con mayor porcentaje presente en dichas áreas se encuentra como suelo sin vegetación, con un coeficiente de escurrimiento de 0.40.

TÉCNICAS DE IV

Considerando los conceptos de diseño, medidas y distribución porcentual de los tipos de suelos en las áreas comunes de los conjuntos habitacionales de interés social, los cuales comparten un patrón de similitudes en los conceptos mencionados, se consideran las técnicas de IV que se pueden implementar, con el fin de lograr infiltrar el escurrimiento de aguas pluviales correspondiente a cada tipo de área. En la tabla 5 se muestra la relación entre los tipos de técnica seleccionados para este proyecto y el área de posible aplicación para cada una de ellas.

TABLA 5
Técnicas de IV por área

Área	Técnica de IV		
	Concreto permeable	Jardín de lluvia	Jardín microcuenca
Arriates en banquetas		X	X
Banquetas	X		
Calles	X		
Camellones		X	X
Áreas recreativas	X	X	X

Fuente: Elaboración propia.

ESCURRIMIENTO DE AGUAS PLUVIALES

Para este estudio se propone utilizar las técnicas de jardín de lluvia o jardín microcuenca, a fin

de adaptar los espacios de arriates, camellones y áreas recreativas con que ya se cuenta, considerando dentro de ellas solamente las superficies

que cuenten con tipo de suelo con vegetación, sin vegetación y suelo con pasto. También se considera la implementación de concreto permeable en el área de banquetas, superficies compuestas por concreto convencional en áreas recreativas y calles. Una vez propuestas las modificaciones en el diseño de los conjuntos habitacionales mediante

las aplicaciones de las distintas técnicas de IV, se realizaron cálculos de escorrentía utilizando los coeficientes correspondientes a cada una de las técnicas, como también los coeficientes correspondientes a los otros materiales utilizados, como se muestra en la tabla 6.

TABLA 6
Coeficientes de escurrimiento utilizados para los cálculos

Tipo de suelo	Coeficientes de escurrimiento
Concreto asfáltico ¹	0.83
Concreto permeable ²	0.61
Concreto hidráulico ¹	0.83
Grava ¹	0.48
Pasto ^{1 *}	0.34
Suelo con vegetación ^{1 *}	0.35
Suelo sin vegetación ^{1 *}	0.40

Nota: *Al aplicar una técnica de captación de IV el coeficiente de escurrimiento es igual a 0.

Fuente: ¹Datos extraídos de la tabla 3 sobre coeficientes de escurrimiento. ²(Zegarra-Tarqui, Santos-De Brito & De Fátima-Carvalho, 2015).

Para este estudio se realizaron nueve propuestas de escenarios para la aplicación de técnicas de IV. En la tabla 7 se muestra cada una de las propuestas con relación a los elementos que la

conforman, indicando el tipo de técnica que se pretende aplicar y su área de aplicación dentro de las áreas comunes del conjunto habitacional.

TABLA 7
Propuestas de aplicación de IV y sus superficies de aplicación

Técnica	Concreto permeable			Jardín de lluvia			Jardín microcuenca		
	Banqueta	Calle	Áreas recreativas	Arriates	Áreas recreativas	Camellones	Arriates	Áreas recreativas	Camellones
Propuesta									
P1	X	X	X						
P2				X	X	X			
P3				X		X			
P4							X	X	X
P5							X		X
P6	X	X	X	X		X			
P7	X	X	X				X		X
P8*				X	X	X			
P9*							X	X	X

Nota * Esta propuesta involucra duplicar en tamaño la superficie donde se propone aplicar la técnica de IV.

RESULTADOS

COMPARACIÓN DE CASOS Y TÉCNICAS DE IV

Para las nueve propuestas presentadas en la tabla 7 se realizaron los cálculos de reducción de volúmenes de escurrimiento para cada uno de los conjuntos habitacionales de interés social que conforman la muestra, siguiendo la metodología planteada anteriormente. El porcentaje de reducción de los volúmenes de escurrimiento surge de la comparación de los volúmenes de escurrimientos calculados para cada una de las

nueve propuestas y los volúmenes de escurrimiento calculados a partir del estado actual de las superficies de estudio (ausencia de IV). Los porcentajes de volúmenes de escurrimiento de toda la muestra se promediaron para cada propuesta; tales resultados se plasman en la tabla 8, donde se observan porcentajes promedio de escurrimiento desde 24,56% hasta mayores del 100%. Los porcentajes mayores del 100% implican que las técnicas de captación propuestas en esos escenarios no son utilizadas al 100% de su capacidad para el evento de lluvia considerado en los cálculos.

TABLA 8

Porcentajes promedio de reducción de escurrimiento para las propuestas de aplicación de técnicas de IV

Volumen de escurrimiento promedio sin IV		846.23 m ³		
Propuesta	Técnicas aplicadas	Porcentaje del área donde se aplican	Volumen de escurrimiento promedio con IV (m ³)	Porcentaje promedio de reducción de escurrimiento
1	Concreto permeable	88.91 %	637.44	24.56 %
2	Jardín de lluvia en suelo descubierto	10.25 %	178.20	83.74 %
3	Jardín de lluvia en arriate y camellón	5.91 %	445.89	48.09 %
4	Jardín microcuenca en suelo descubierto	10.25 %	339.78	63.49 %
5	Jardín microcuenca en arriate y camellón	5.91%	542.71	36.46 %
6	Concreto permeable + jardín de lluvia en suelo descubierto	99.16 %	-30.58	108.31 %
7	Concreto permeable + jardín microcuenca en suelo descubierto	99.16 %	130.99	88.05 %
8	Duplicación de áreas permeables + jardín de lluvia	20.5 %	-448.14	162.26 %
9	Duplicación de áreas permeables + jardín microcuenca	20.5 %	-124.99	121.75 %

Este estudio reveló la eficiencia de la aplicación de técnicas de IV, como el jardín de lluvia en áreas de arriates y camellones dentro de las áreas comunes en conjuntos habitacionales de interés social dentro de la zona urbana de la ciu-

dad de Hermosillo, lo cual arrojó un promedio del 48.09% de reducción del volumen de escurrimiento de aguas pluviales. También sobre un jardín de lluvia, pero en Cartagena, Colombia, Franco Meza & Hincapié López (2015) realiza-

ron un estudio de balance hídrico. Dicho sistema tuvo la capacidad de infiltrar y contener agua de lluvia entre el 14% y el 51%, lo que redujo considerablemente el volumen de escorrentía.

En un estudio realizado en la comunidad urbana de Ningbo, en China, se valoró la eficacia de los jardines microcuenca en condiciones actuales y hacia el futuro, simulando un escenario en el que se traza un jardín microcuenca que abarca el 0.3% de la superficie total de investigación y que resultó en una reducción del escurrimiento de aproximadamente el 30%, para un evento de lluvia de 67.30 mm (Lu *et al.*, 2024). Este resultado de reducción es similar al obtenido para este estudio en la ciudad de Hermosillo, en el cual se obtuvo el 36.46% de reducción de los volúmenes de escurrimiento para un evento de lluvia ligeramente menor (55.5 mm) y una superficie de aplicación de 5.91%.

El concreto permeable es una técnica de infraestructura verde que puede aplicarse para reducir el volumen de escorrentía generado en áreas transitadas por vehículos automotores, peatones o ciclistas. Una simulación realizada por Zhu *et al.* (2019) en una carretera en Nanjing, China, donde se aplicaron diferentes estructuras de pavimento permeable en las superficies de calle, ciclovía y acera (72.7% del total de la superficie de interés), arrojó una reducción de la escorrentía superficial superior al 50% utilizando coeficientes de escurrimiento de entre 0.733 y 0.966. Para el caso de concreto permeable con un coeficiente de escurrimiento de 0.61 aplicado a calles y banquetas (que representan un aproximado del 88.91% de la superficie de interés), en los conjuntos habitacionales de interés social en Hermosillo, se obtuvo una reducción del escurrimiento del 24.56 %.

En cuanto a la combinación de técnicas, los resultados varían según la combinación. Para los casos donde se propone realizar una adaptación de las áreas de calles y banquetas mediante la utilización de concreto permeable en conjunto con la aplicación de jardín de lluvia o jardín microcuenca, se obtuvieron porcentajes de reducción del escurrimiento del 108.31% y el 88.05%,

respectivamente. Resultados igualmente favorables se han encontrado en estudios realizados en el estado de Hidalgo en que se han utilizado en combinación principalmente tres técnicas de IV (captación de agua de lluvia de las azoteas, zanjas de infiltración y sistemas de biorretención), y se ha obtenido reducción de los volúmenes de escurrimiento desde el 94.1% hasta más del 100%, utilizando eventos de lluvia de entre 9 mm y 39 mm (Bigurra-Alzati *et al.*, 2020; Zúñiga-Estrada, *et al.*, 2022).

Por otra parte, para las propuestas donde se plantea realizar la duplicación de las áreas permeables y la aplicación de las técnicas de IV de captación en dichas áreas en el presente estudio, el porcentaje promedio de reducción del escurrimiento para el caso de duplicación de áreas en conjunto con jardín de lluvia fue del 162.26 % y del 121.75 % para la duplicación con jardín microcuenca.

CONCLUSIONES

Este estudio determina la eficacia de la integración de IV para la mitigación de inundaciones en conjuntos habitacionales de interés social ubicados en la zona urbana de la ciudad de Hermosillo, Sonora. Con esto se logra demostrar que la IV es una buena opción para este tipo de espacios en una ciudad que, a pesar de encontrarse en una zona desértica, con pocos días de lluvia al año, presenta inundaciones y encharcamientos, ya que en esos pocos días de lluvia se pueden presentar precipitaciones altas, como las consideradas en los cálculos del presente estudio. Esto, sumado a los altos porcentajes de impermeabilización de las superficies, la ausencia de IV y la ausencia de drenaje pluvial en estos conjuntos habitacionales, agrava la situación.

Una de las conclusiones del estudio es que es necesario considerar primeramente algunos aspectos estructurales y el porcentaje promedio destinado a áreas verdes en los conjuntos habitacionales, áreas que se pueden adaptar fácilmente para la implementación de técnicas de

IV de captación. No obstante, aunque en algunos conjuntos analizados las áreas verdes podrían ser suficientes, las razones por las cuales continúan presentándose escurrimientos bastos, encharcamientos e inundaciones radican en la ausencia de la adaptación de las infraestructuras para la captación y la infiltración del agua de lluvia, porque las áreas verdes están conformadas en su mayoría con suelo sin vegetación, lo que no promueve la infiltración del agua de lluvia.

De la aplicación de las técnicas de jardín de lluvia y jardín microcuenca en arriates, en camellones y en todas las áreas con suelo descubierto existentes dentro de los conjuntos habitacionales, los resultados de disminución del escurrimiento fueron favorables, lo que indica que es posible lograr la reducción de encharcamientos e inundaciones dentro de los conjuntos habitacionales utilizando técnicas de adaptación de espacios. Sin embargo, para lograr una mayor eficiencia respecto de la reducción de escurrimientos que ocasionan inundaciones y encharcamientos, es necesario complementar las técnicas de adaptación de los espacios con otras técnicas, como la de concreto permeable propuesta. Además, también es recomendable considerar para futuros desarrollos duplicar en tamaño la superficie con suelo descubierto para la aplicación de técnicas de IV de captación.

La implementación de técnicas de IV en las superficies permeables que normalmente se destinan en los conjuntos habitacionales de interés social de la zona urbana de Hermosillo no es suficiente para prevenir inundaciones y encharcamientos provocados por un evento de precipitación de 55.5 mm. Sin embargo, es posible mitigar las escurrimientos pluviales con la combinación de la técnica de jardín de lluvia aplicada en superficies permeables que normalmente se destinan en los conjuntos habitacionales de interés social en conjunto con concreto permeable aplicado en calles y banquetas.

Entre las limitaciones del estudio se encuentran las siguientes: 1. La muestra está conformada solamente por las áreas comunes de los conjuntos habitacionales de interés social y, por lo tanto,

no se toman en consideración para los cálculos los escurrimientos que pudieran derivar del interior de los predios de las viviendas, en el caso de que no se absorba toda el agua en el interior de ellos. 2. Para las propuestas de jardín de lluvia y microcuenca se considera una sola opción de espesor para sus respectivas capas, aunque hay otras opciones técnicamente viables que pudieran aumentar o disminuir su capacidad de captación. 3. No se toman en consideración la topografía de cada uno de los conjuntos habitacionales, y esto puede condicionar si la ubicación actual de las áreas verdes es idónea para la aplicación de técnicas de captación.

REFERENCIAS

- Abellán, A. (19 de abril de 2016). *IAGUA*. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/ana-abellan/impactos-urbanizacion-ciclo-agua>. Consultado: 9 de julio de 2024.
- American Rivers (2020). *American Rivers*. Disponible en: <https://www.americanrivers.org/resource/sonoran-desert-green-infrastructure->. Consultado: 30 de enero de 2023.
- Aparicio Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Limusa. Disponible en: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/Fundamentos_de_hidrologia_de_superficie_-_Aparicio.pdf. Consultado: 8 de diciembre de 2023.
- Balmaseda Ulacia, R. (2014). La infraestructura verde como sistema de captación de agua de lluvia. *Impluvium Periódico digital de divulgación de la Red del Agua UNAM*(1). Disponible en: <https://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero01.pdf>. Consultado: 26 de noviembre de 2022.
- Bigurra-Alzati, C., Ortiz-Gómez, R., Vázquez-Rodríguez, G., López-León, L. & Lizárraga-Mendiola, L. (2020). Water Conservation and Green Infrastructure Adaptations to. *Water*, 13(1), 1-17. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.3390/w13010045>
- Borgwardt, S. (2006). Long-Term In-situ Infiltration Performance of Permeable Concrete Block Pavement. *8th International Conference on Concrete Block Paving*. Disponible en: <https://>

- citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=ecf27166fb321a21b6877odd-979ce401ea7b25bf. Consultado: 2 de febrero de 2023, de
- Calaza, P. (diciembre de 2019). *Xardinería e paisaxismo en Galicia: Recursos e novos enfoques*. P. Ramil Rego & L. Gómez Orellana (Ed.). Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/340874296_Infraestructura_verde_Sistema_natural_de_salud_publica. Consultado: 11 de febrero de 2023.
- Castro Fresno, D., Rodríguez Bayón, J., Rodríguez Hernández, J. & Muñoz, B. (2005). Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS). *Interciencia*, 30(5), 255-260. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33910403>. Consultado: 14 de diciembre de 2022.
- Comisión Europea (2013). *European Union*. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0474>. Consultado: 13 de noviembre de 2022.
- Comisión Nacional de Vivienda [CONAVI] (2017). *Gobierno de México*. Consultado: Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/383811/C_digo_de_Eficaci_n_Vivienda_2017__SEDATU.pdf. 8 de diciembre de 2023.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] (2023). *Base de datos climatológicos, estación Observatorio*. Hermosillo, Sonora: Dirección de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.
- De Lucio, J. V. (2016). *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_AM/PDF_AM_Ambienta_2016_115_60_75.pdf. Consultado: 28 de noviembre de 2022.
- Dirección de Vialidad. Gobierno de Chile (2018). *Portal Construcción*. Disponible en: https://portal.ondac.com/601/articles-59868_doc_pdf.pdf. Consultado: 8 de diciembre de 2023.
- Dussaillant, A. R., Wu, C. H. & Potter, K. W. (2004). Richards Equation Model of a Rain Garden. *Journal of Hydrologic Engineering*, 9(3), 219. Disponible en: doi:10.1061/(ASCE)1084-0699(2004)9:3(219)
- Fazeli Tello, D. & Del Moral Ituarte, L. (2021). La infraestructura verde y sus potencialidades para la regeneración de territorios fluviales: ejemplos de buenas prácticas a diferentes escalas. *Agua y Territorio*(18), 39-59. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.17561/at.18.5234>
- Franco Mesa, X. M. & Hincapié López, D. E. (2015). *Evaluación del balance hídrico de un jardín de lluvia a escala piloto en el campus Piedra de Bolívar de la Universidad de Cartagena*. Universidad de Cartagena.
- Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo [IMPLAN] (2019). *Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo*. Disponible en: http://www.implanhermosillo.gob.mx/wp-content/uploads/2019/06/Manual_IV3.pdf. Consultado: 30 de enero de 2023.
- Liu, W., Chen, W. & Peng, C. (2015). Influences of Setting Sizes and Combination of Green Infrastructures on Community's Stormwater Runoff Reduction. *Ecological Modelling*, 318, 236-244. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.11.007>
- Lizárraga-Mendiola, L., Vázquez-Rodríguez, G. A., Lucho-Constantino, C. A., Bigurra-Alzati, C. A., Beltrán-Hernández, R. I., Ortiz-Hernández, J. E. & López-León, L. D. (2017). Hydrological Design of Two Low-Impact Development Techniques in a Semi-Arida Climate Zone of Central Mexico. *Water*, 9(8), 1-18. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.3390/w9080561>
- Lu, L., Johnson, M., Zhu, F., Xu, Y., Ruan, T. & Chan, F. K. (2024). Harnessing the Runoff Reduction Potential of Urban Bioswales as an Adaptation Response to Climate Change. *Scientific Reports*, 14(1), 1-14. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-024-61878-7>
- Martínez Arias, M. d., Castellanos López, M. Á. & Chacón Gómez, J. C. (2014). *Métodos de investigación en psicología*. EOS. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=825240>. Consultado: 20 de junio de 2023.
- Moler, C. (1984). Matlab [Software].
- Naciones Unidas (2015). *Naciones Unidas*. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>. Consultado: 10 de diciembre de 2022.
- Pauleit, S., Ambrose-Oji, B., Andersson, E., Anton, B., Buijs, A., Haase, D., . . . Hansen, R. (2019). Advancing Urban Green Infrastructure in Europe: Outcomes and Reflections from the Green Surge Project. *Urban Forestry & Urban Greening*, 40, 4-16. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.10.006>

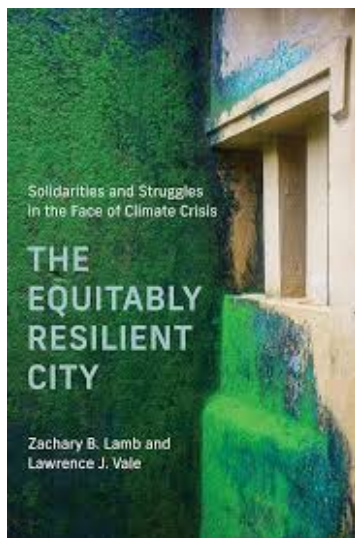
- Pérez, C. (2010). *Técnicas de muestreo estadístico*. Ibergarceta Publicaciones, Consultado: 15 de junio de 2023.
- Rivera Torres, C., Arredondo Vega, J. A. & Padrés León, E. (2019). Buenas prácticas de la infraestructura verde: su aportación como red estratégica de planeación. *Terra Plural*, 13(1), 53-175. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.5212/TerraPlural.v13i1.0010>
- Salinas González, H., Echavarría, F. G., Flores-Najera, M. J., Flores-Ortiz, M. A., Gutiérrez, R., Rumayor, A., . . . & Pastor, F. (2011). Evaluación participativa de tecnologías en caprinos en el semiárido del norte centro de México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17, 17(spe), 225-234. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.11.106>
- Sañudo-Fontaneda, L. A., Roces-García, J., Coupe, S. J., Barrios-Crespo, E., Rey-Mahía, C., Álvarez-Rabanal, F. P. & Lashford, C. (2020). Descriptive Analysis of the Performance of a Vegetated Swale through Long-Term Hydrological Monitoring: A Case Study from Coventry, UK. *Water*, 12(10). doi: Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w12102781>
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (2013). *Diario Oficial de la Federación*. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5312875&fecha=04/09/2013#gsc.tab=0. Consultado: 6 de marzo de 2024,
- State Water Resources Control Board CA, USA Government (2011). *State Water Resources Control Board*. Disponible en: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/513.pdf. Consultado: 8 de diciembre de 2023.
- Suppakittpaisarn, P., Jiang, X. & Sullivan, W. C. (diciembre de 2017). Green Infrastructure, Green Stormwater Infrastructure, and Human Health: A Review. *Current Landscape Ecology Reports*, 2, 96-110. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.1007/s40823-017-0028-y>
- Synthetic Turf Council (2017). *Synthetic Turf Council*. Disponible en: <https://www.syntheticurf-council.org/page/guias>. Consultado: 8 de diciembre de 2023.
- The CivilWeb Foundation Design Spreadsheet Suite (2023). *CivilWeb Spreadsheets Engineering Calculations & Spreadsheets*. Disponible en: <https://civilweb-spreadsheets.com/drainage-design-spreadsheets/runoff-and-rainfall-intensity-calculator-spreadsheet/rational-method-runoff-coefficient/>. Consultado: 10 de diciembre de 2023.
- Thompson, D. B. (enero de 2007). Disponible en: https://www.campus-virtual.mineria.unam.mx/Mineria/Cursos/HVT/Unidad3/pdf/RM_U2.pdf. Consultado: 10 de diciembre de 2023.
- us Government (14 de enero de 2019). *Congress.gov*. Disponible en: <https://www.congress.gov/115/plaws/publ436/PLAW-115publ436.pdf>. Consultado: 2 de diciembre de 2022.
- Valdivielso, A. (s/f). *IAGUA*. <https://www.iagua.es/respuestas/sistema-drenaje-pluvial>. Consultado: 9 de julio de 2024.
- Valladares Ros, F., Gil Hernández, P. M. & Forner Sales, A. (2017). *El Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente*. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/basescientifico-tecnico-caseivcre_tcm30-479558.pdf. Consultado: 16 de febrero de 2023.
- Zegarra-Tarqui, J., Santos-De Brito, J. & De Fátima-Carvalho, M. (2015). Esguerramiento en pavimentos de bloques de suelo-cemento: un abordaje experimental. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 35-47. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432015000100004&lng=es&tlng=es. Consultado: 13 de agosto de 2024.
- Zhu, H., Yu, M., Zhu, J., Lu, H. & Cao, R. (2019). Simulation Study on Effect of Permeable Pavement on Reducing Flood Risk of Urban Runoff. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 8(4), 373-382. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2018.12.001>
- Zúñiga-Estrada, M., Lizárraga-Mendiola, L., Bigrura-Alzati, C., Aldana-Alonso, S., J. R.-N. & Vázquez-Rodríguez, G. (2022). Preliminary Model-Based Evaluation of Water Conservation Strategies in a Semi-Arid Urban Zone. *land*, 11(1), 1-20. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.3390/land11010101>

Reseña libro: The Equitably Resilient City: *Solidarities and Struggles in the Face of Climate Crisis*

MARIANA VILLADA CANELA

Universidad Autónoma de Baja California. ORCID: 0000-0003-1282-3250

Correo electrónico: mvilladac@uabc.edu.mx



Traducción: La ciudad resiliente y equitativa: Solidaridad y luchas ante la crisis climática
Zachary B. Lamb y Lawrence J. Vale. Cambridge: MIT Press, 2024. Serie Urban and Industrial Environments. ISBN electrónico: 9780262380959. 468 páginas. Disponible en: <https://doi.org/10.7551/mitpress/14961.001.0001>

Zachary B. Lamb, profesor de la Universidad de California (UC) Berkeley, y Lawrence J. Vale, profesor del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), presentan en el libro “La ciudad resiliente y equitativa”, una obra que aborda uno de los desafíos más apremiantes de nuestro tiempo:

la intersección entre la justicia social y la adaptación climática en entornos urbanos. A través del análisis exhaustivo de doce casos de intervenciones globales en planificación y diseño urbano, los autores develan las complejidades inherentes a la construcción de resiliencia urbana con un enfoque en la equidad. Su relevancia trasciende el ámbito académico, ofreciendo lecciones prácticas para urbanistas, formuladores de políticas y comunidades que enfrentan los efectos del cambio climático.

La tesis central de esta obra es que la resiliencia urbana ante el cambio climático debe integrar necesariamente la justicia social para ser efectiva y sostenible. A través del análisis exhaustivo de casos globales, los autores desarrollan y validan el concepto de “resiliencia equitativa”, demostrando cómo las intervenciones urbanas pueden simultáneamente abordar vulnerabilidades climáticas y desigualdades sociales. Este concepto se diferencia de la resiliencia tradicional porque no solo busca reducir la vulnerabilidad ante desastres ambientales, sino que también atiende la equidad en términos de seguridad, medios de vida y gobernanza. Así, el libro logra el propósito de proporcionar un marco conceptual y metodológico para evaluar y promover la resiliencia urbana equitativa, respaldado por evidencia empírica rigurosa y casos de estudio diversos.

Aunque la resiliencia urbana y la equidad ya han sido objeto de análisis en la literatura aca-

démica, la propuesta de Lamb y Vale introduce una articulación novedosa entre ambos conceptos. A diferencia de otros enfoques que tratan estos temas de manera separada o con énfasis en casos particulares, esta obra desarrolla un marco analítico integral (LEGS) que permite evaluar y promover la resiliencia equitativa en diversos contextos urbanos. Este aporte metodológico no solo amplía el debate sobre la justicia social en la adaptación climática, sino que también proporciona herramientas concretas para su aplicación en la planificación urbana

La obra está estructurada en torno al marco analítico LEGS (Livelihoods, Environment, Governance, and Security), que evalúa la resiliencia equitativa mediante cuatro dimensiones interrelacionadas: Medio ambiente, Seguridad, Medios de vida y Gobernanza. Cada una aborda un aspecto clave para garantizar que las intervenciones urbanas no solo mitiguen riesgos climáticos, sino que también promuevan la equidad social.

- Medio ambiente se centra en la reducción de vulnerabilidades ante amenazas climáticas, asegurando que las comunidades más desfavorecidas no solo sean protegidas, sino que también puedan beneficiarse de infraestructuras resilientes y sostenibles. Ejemplos como el Distrito de Resiliencia de Gentilly en Nueva Orleans y la iniciativa OASIS en París muestran cómo proyectos urbanos pueden mejorar la relación con el entorno natural, aunque enfrentan desafíos como la gentrificación verde y la resistencia de los residentes.
- Seguridad abarca la protección contra el desplazamiento forzado, garantizando acceso estable a la vivienda y recursos básicos. Casos como Pasadena Trails en Texas y Baan Mankong en Tailandia resaltan la importancia de la tenencia segura, aunque evidencian la dificultad de escalar estos modelos sin perder sus principios comunitarios.
- Medios de vida explora cómo las iniciativas urbanas pueden fortalecer la economía local sin generar desplazamiento. Experiencias como Living Cully en Portland y Dafen en China muestran diferentes estrategias para promo-

ver empleos sostenibles, aunque enfrentan tensiones con la especulación inmobiliaria y la desigual distribución de beneficios.

- Gobernanza enfatiza la participación activa de las comunidades en la toma de decisiones sobre su propio desarrollo. Iniciativas como Thunder Valley en la Reserva Pine Ridge (EE. UU.) y el proyecto del Caño Martín Peña en Puerto Rico ejemplifican cómo la autogestión y la propiedad colectiva pueden fortalecer la resiliencia social y climática, aunque dependen de negociaciones con entidades gubernamentales para su sostenibilidad a largo plazo.

De este modo, la investigación, desarrollada a lo largo de una década en colaboración con la Iniciativa de Vivienda en Ciudades Resilientes del MIT, abarca doce intervenciones urbanas en cinco continentes. Los casos fueron seleccionados estratégicamente para maximizar la diversidad en términos de geografía, tipos de riesgos climáticos, y escala y tipo de intervención.

Para un mayor detalle, los casos analizados son:

1. Distrito de Resiliencia Gentilly (EE. UU.): Reformulación de la relación de un vecindario de Nueva Orleans con las aguas pluviales.
2. Paraisópolis (Brasil): Reubicación de residentes en áreas propensas a inundaciones.
3. Proyecto OASIS (Francia): Transformación de patios escolares en espacios de aprendizaje y refugio climático.
4. Pasadena Trails (EE. UU.): Reducción de vulnerabilidad a inundaciones en un parque de casas prefabricadas.
5. Comunidad María Auxiliadora (Bolivia): Infraestructura de agua y seguridad habitacional mediante tenencia colectiva.
6. BaanMankong (Tailandia): Control comunitario de mejoras de infraestructura en asentamientos informales.
7. Living Cully (EE. UU.): Capacitación en infraestructura verde y justicia energética en Portland.
8. Yerwada (India): Reurbanización in situ preservando acceso a medios de vida.
9. Dafen (China): Comunidad de productores de arte en Shenzhen.

10. Thunder Valley (EE. UU.): Desarrollo comunitario liderado por el pueblo Lakota.
11. Kibera (Kenia): Construcción de espacios públicos mediante diseño participativo.
12. Caño Martín Peña (Puerto Rico): Fideicomiso de tierras comunitarias para evitar desplazamiento.

La metodología empleada en la investigación destaca por su rigurosidad y amplitud, pero también por su interdisciplinariedad. Los autores desarrollaron un enfoque multinivel que incluye revisión exhaustiva de literatura, entrevistas a profundidad y observación directa. Un aspecto particularmente innovador fue la colaboración con hablantes nativos para acceder y analizar literatura académica, informes técnicos y medios de comunicación en nueve idiomas diferentes: inglés, francés, español, portugués, mandarín, maratí, hindi, suajili y tailandés. Esta aproximación multilingüe permitió capturar matices culturales y contextuales esenciales para comprender cada caso. Para cada intervención, los investigadores realizaron entrevistas con una amplia gama de actores, incluyendo líderes de proyectos, personal operativo, miembros de las comunidades afectadas, urbanistas, diseñadores, funcionarios gubernamentales y críticos potenciales. Además, las visitas de campo incluyeron documentación exhaustiva mediante fotografías, videos, grabaciones de audio y dibujos, proporcionando un registro detallado de cada proyecto en su contexto específico.

El libro es relevante por su contenido analítico y metodológico, pero también por su diseño visualmente atractivo y funcional. A lo largo de sus páginas, se incluyen mapas, diagramas y fotografías que enriquecen la comprensión de los casos de estudio. Estas imágenes no solo complementan la narrativa, sino que también permiten visualizar la diversidad de contextos urbanos analizados. La claridad del diseño facilita la lectura y el acceso a la información clave, lo que lo convierte en una obra accesible tanto para académicos como para profesionales del urbanismo y la planificación.

Entre los puntos fuertes del libro destaca precisamente esta robusta metodología de investigación, que permite un análisis profundo y matizado de cada caso. La diversidad geográfica y contextual de los casos seleccionados fortalece la validez de las conclusiones y demuestra la aplicabilidad del marco LEGS en diferentes contextos. El libro sobresale por su capacidad de vincular teoría y práctica, ofreciendo tanto un marco conceptual sofisticado como ejemplos concretos de implementación, todo ello respaldado por una base empírica sólida y diversa.

Esta obra tiene un gran valor para las y los lectores de la revista “Vivienda y Comunidades Sustentables”. Su énfasis en la equidad como componente esencial de la resiliencia urbana resulta particularmente relevante para el contexto latinoamericano, donde las vulnerabilidades climáticas frecuentemente se entrelazan con desigualdades socioeconómicas históricas. La metodología presentada ofrece herramientas para investigadores y profesionales interesados en desarrollar intervenciones urbanas que promuevan simultáneamente la adaptación climática y la justicia social. La obra constituye una contribución significativa al campo del desarrollo urbano sostenible, proporcionando un marco integral y una metodología robusta para evaluar y diseñar intervenciones que beneficien a las comunidades más vulnerables mientras fortalecen la resiliencia urbana ante el cambio climático.

Finalmente, este libro puede convertirse en un referente para quienes trabajan en el desarrollo urbano sostenible, la planificación urbana y la justicia social. Su combinación de teoría, metodología y estudios de caso prácticos la convierte en una lectura indispensable para académicos, profesionales y tomadores de decisión. En un mundo cada vez más afectado por la crisis climática, este libro proporciona herramientas críticas para diseñar ciudades más resilientes y equitativas.

Acerca de los autores

SALVADOR ADAME MARTÍNEZ

Profesor-investigador de tiempo completo en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Planeación Territorial (CEPLAT), perteneciente a la Facultad de Planeación Urbana y Regional (FAPUR) de la Universidad Autónoma del Estado de México. Geógrafo por la UNAM. Maestría y doctorado en Ciencias por el Colegio de Posgraduados (COLPOS). Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT).

Reconocimiento Perfil Deseable del Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP). Líneas de investigación: Sustentabilidad Urbana, Riesgo y Vulnerabilidad, y Variabilidad Climática.

Director de tesis de 73 alumnos de licenciatura, maestría y doctorado; publicación de 48 artículos y 56 capítulos de libros, como autor y coautor; participación en 60 eventos académicos nacionales e internacionales e impartición de 80 cursos académicos. Estancia de investigación en el Instituto de Geografía de la UNAM. Perteneció al cuerpo académico Relaciones Metrópoli- Ambiente (SEP-UAEM); miembro de la Red Internacional "Territorios, sustentabilidad y gobernanza en México y Polonia (RETESYG)" de la UAEM. Red PRODEP/SEP "Desarrollo Urbano y Sustentabilidad" y de la "Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos (RedesClim)" del CONAHCYT".

Publicaciones recientes:

Israel Vázquez Morán, Salvador Adame Martínez, Elda Margarita Hernández Rejón y Juan Roberto Calderón Maya. 2023. Evaluación de la sostenibilidad urbana multidimensional de la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala, México. Investigaciones Geográficas • Instituto de Geografía • UNAM. Núm. 112 • Diciembre • 2023 • e60785. eISSN: 2448-7279 • DOI: <https://doi.org/10.14350/rig.60785>.

García-Valerio, Abigail; Salvador Adame Martínez y Eduardo Campos Medina. 2024. Estrategias aplicadas al manejo de residuos sólidos urbanos en México durante la pandemia por covid-19. Entre propósitos y la realidad. Brazilian Journal of Health Review. Curitiba, v. 7, n. 3, p. 01-20, may/jun., 2024. ISSN: 2595-6825. DOI: <https://doi.org/10.34119/bjhrv7n3-316>

Correo electrónico: sadamem@uaemex.mx

LUIS FERNANDO ÁLVAREZ VILLALOBOS

Economista y maestro en Ciencias Aplicadas/Urbanismo; doctor en Ciencias Políticas. Actualmente es profesor investigador en el Centro de Arte, Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara. Especialista en Economía Urbana, procesos de metropolización; de manera más específica trabaja la coproducción de bienes públicos. Su tesis doctoral discurre sobre la inci-



dencia de la acción colectiva sobre la producción de bienes públicos. Correo electrónico: luis.alvarez@cuaad.udg.mx

CARLOS DELHDARI CORREA GORDILLO

Maestro en Políticas Públicas por la Universidad de Guadalajara; analista técnico en Dirección de Ordenamiento del Territorio de Guadalajara. Correo electrónico: delhdari@gmail.com

CÉSAR ARMANDO GUILLÉN-GUILLÉN

Arquitecto por la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH); maestro en Arquitectura y Urbanismo, con especialidad en Arquitectura Sustentable, por la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas (FA-UNACH); doctor en Arquitectura en Pensamiento y Producción Científico Tecnológico por la UNAM. Colaborador del Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales (LMSE) de la Facultad de Arquitectura de la UNAM y del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables (LNVCS), sede Centro. Profesor asociado de Tiempo Completo. Actualmente es profesor investigador adscrito a la Unidad de Posgrado de Arquitectura por la Universidad Nacional Autónoma de México. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores de México (SNI-CONACYT), y desarrolla trabajos de investigación en materiales regionales y sistemas estructurales evaluando propiedades físicas, mecánicas y térmicas.

Correo electrónico: guillendos@gmail.com

EDUARDO JIMÉNEZ LÓPEZ

Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Geografía, Toluca, Estado de México, México. Doctor en Ciencias Aplicadas por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel 1, Perfil Deseable PROMEP.

Área de investigación: Crecimiento de la Mancha Urbana con Modelos Matemáticos y Análisis Espacial.

Publicaciones recientes:

Deep Learning in the Expansion of the Urban Spot, Complex Systems and Their Applications; Impacto de la Violencia en el Índice de Desarrollo Humano, Papeles de población; Probabilidad de crecimiento de la mancha urbana con autómatas celulares, Ciencia ergo-sum.

Correo electrónico: ejimenezl@uaemex.mx.

ALBERTO MUCIÑO VELEZ

Doctor y maestro en Arquitectura por la Universidad Nacional Autónoma de México. Recibió la medalla Alfonso Caso por haber sido el graduado más distinguido del Programa de Doctorado en Arquitectura y obtuvo la distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos en el área de Arquitectura y Diseño por su labor en investigación. Actualmente se encuentra adscrito al Centro de Investigaciones en Arquitectura, Urbanismo y Paisaje de la Facultad de Arquitectura de la UNAM. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores de México (SNI-CONACYT). Responsable del Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales, sede Centro, del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables del CONACYT, donde desarrolla estudios de manera multidisciplinaria. Su investigación se centra en estudiar, caracterizar y diseñar materiales regionales y su aplicación en la arquitectura, así como analizar sistemas constructivos para la generación de tecnologías alternativas en contextos rurales o emergentes. Correo electrónico: dr.mucino@gmail.com

MARTÍN DAVID ROSAS MARTÍNEZ

Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx). Maestro en Estudios de la Ciudad, otorgado por la Universidad Autónoma del Estado de México.

Área de investigación: Ordenamiento ambiental y vulnerabilidad urbana, con enfoque en el análisis de islas de calor urbanas y cambios de uso de suelo. Especialización en el estudio de climas urbanos y su impacto en la estructura territorial de las ciudades mediante herramientas de percepción remota y análisis espacial, aplicadas a la planificación urbana en zonas metropolitanas.

Jefe del Departamento de Impulso Estudiantil en la Secretaría de Proyectos Especiales y Proyección Universitaria de la Universidad Autónoma del Estado de México, donde gestionó proyectos relacionados con el desarrollo académico y la profesionalización de los estudiantes. Correo electrónico: mdrosasm@uaemex.mx

ANTONIO TAHUITON-MORA

Maestro en Arquitectura por la UNAM. Arquitecto por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Colaborador del Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales (LMSE) de la Facultad de Arquitectura de la UNAM y del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables (LNVCS), sede Centro. Técnico Académico de Tiempo Completo de la Facultad de Arquitectura de la UNAM. Actualmente cursa el doctorado en la línea de Pensamiento Científico Tecnológico de la Arquitectura. Sus líneas de investigación se concentran en la evaluación de las capacidades mecánicas de los materiales, el manejo de residuos de la construcción y la evaluación del comportamiento de sistemas constructivos mediante pruebas complementarias. Correo electrónico: antonio.tahuiton@fa.unam.mx

ISRAEL VÁZQUEZ MORÁN

Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química, Toluca, Estado de México, México. Doctor en Ciencias Ambientales, Uni-

versidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química.

Investigador Posdoctoral en la Facultad de Ingeniería Tampico, Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Área de investigación: Desarrollo Sostenible, Procesos Socio-territoriales, y Planeación Urbana.

Publicaciones recientes:

Israel Vázquez Morán, Salvador Adame Martínez, Elda Margarita Hernández Rejón y Juan Roberto Calderón Maya. 2023. Evaluación de la sostenibilidad urbana multidimensional de la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala, México. Investigaciones Geográficas • Instituto de Geografía • UNAM. Núm. 112 • Diciembre • 2023 • e60785. eISSN: 2448-7279.

Correo electrónico: ivazquezm658@alumno.uaemex.mx

ANA WALESKA ARVIZU JUVERA

Hace falta datos del autor

JUAN PEDRO AYALA MORENO

Hace falta datos del autor

HÉCTOR MANUEL GUZMÁN GRIJALVA

Hace falta datos del autor