



# ORDENACIÓN TERRITORIAL HACIA LA SOSTENIBILIDAD

MARCELA VIRGINIA SANTANA JUÁREZ  
LUIS RICARDO MANZANO SOLÍS  
GIOVANNA SANTANA CASTAÑEDA  
NOEL BONFILIO PINEDA JAIMES  
REBECA ANGÉLICA SERRANO BARQUÍN

Coordinadores



Universidad Autónoma  
del Estado de México



# ORDENACIÓN TERRITORIAL HACIA LA SOSTENIBILIDAD

DIRECCIÓN DE PUBLICACIONES UNIVERSITARIAS  
*Editorial de la Universidad Autónoma del Estado de México*

Doctora en Humanidades  
María de las Mercedes Portilla Lujá  
*Encargada del Despacho de la Secretaría de Difusión Cultural*

Doctor en Administración  
Jorge Eduardo Robles Álvarez  
*Director de Publicaciones Universitarias*

# ORDENACIÓN TERRITORIAL HACIA LA SOSTENIBILIDAD

MARCELA VIRGINIA SANTANA JUÁREZ, LUIS RICARDO MANZANO SOLÍS,  
GIOVANNA SANTANA CASTAÑEDA, NOEL BONFILIO PINEDA JAIMES Y  
REBECA ANGÉLICA SERRANO BARQUÍN  
(COORDINADORES)



**Universidad Autónoma del Estado de México**

*“2025, 195 años de la apertura del Instituto Literario en la ciudad de Toluca”*

Primera edición, julio 2025

## ORDENACIÓN TERRITORIAL HACIA LA SOSTENIBILIDAD

Marcela Virginia Santana Juárez, Luis Ricardo Manzano Solís, Giovanna Santana Castañeda, Noel Bonfilio Pineda Jaimes y Rebeca Angélica Serrano Barquín, coordinadores

Universidad Autónoma del Estado de México  
Av. Instituto Literario 100 Ote., Col. Centro,  
Toluca, Estado de México  
C.P. 50000  
Tél: (52) 722 481 18 00  
<http://www.uaemex.mx>

Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (Reniecyt): 1800233



Esta obra está sujeta a una licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivadas 4.0 Internacional. Los usuarios pueden descargar esta publicación y compartirla con otros, pero no están autorizados a modificar su contenido de ninguna manera ni a utilizarlo para fines comerciales. Disponible para su descarga en acceso abierto en: <http://ri.uaemex.mx>

ISBN: 978-970-96591-4-6

Hecho en México

El contenido de esta publicación es responsabilidad de las personas autoras.

Director del equipo editorial: Jorge Eduardo Robles Alvarez  
Coordinación editorial: Ixchel Edith Díaz Porras  
Coordinación de diseño: Luis Maldonado Barraza  
Corrección de estilo: Rocío Franco López  
Formación: Antonia Aguilar Araujo  
Diseño de portada: Sara Valeria Gómez Hernández



## CONTENIDO

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA SOBRE EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN IBEROAMÉRICA: CONTRIBUCIONES DE LAS REDES DE INVESTIGADORES <i>FERNANDA DE SOUZA SEZERINO, LUCAS MANSUR SCHIMALESKI, EDUARDO VEDOR DE PAULA, TÂNIA MARA DA ROSA GARCÍA</i>	9
EVALUACIÓN DE LOS COMPONENTES DE GESTIÓN MUNICIPAL ANTE LOS PROCESOS DE METROPOLIZACIÓN EN TOLUCA <i>PEDRO DANIEL GUZMÁN GIL, JUAN ROBERTO CALDERÓN MAYA</i>	27
EVALUACIÓN MULTICRITERIO: UN MÉTODO PARA PROPONER UNA RED DE MONITOREO DE CALIDAD. CASO DE ESTUDIO <i>MANUEL ALEJANDRO COLÍN CARREÑO, JUAN MANUEL ESQUIVEL MARTÍNEZ, EDITH ROSALBA SALCEDO SÁNCHEZ</i>	45
PROPUESTA DE MODELACIÓN SISTÉMICA Y GEOESPACIAL DE INDICADORES DE GESTIÓN DEL AGUA EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS PARA APOYAR LA TOMA DE DECISIONES <i>LUIS RICARDO MANZANO SOLÍS, GIOVANNA SANTANA CASTAÑEDA, REBECA ANGÉLICA SERRANO BARQUÍN</i>	61
SUPERFICIE ÓPTIMA PARA UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL Y ESCURRIMIENTOS EN EL CERRO DE COATEPEC, CU, TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO <i>MARÍA TERESA MORENO SANTIAGO, ROY ESTRADA OLIVELLA, MARCELA VIRGINIA SANTANA JUÁREZ, BEATRIZ GONZÁLEZ MONROY</i>	87

ANÁLISIS DE TRANSICIÓN DE CATEGORÍAS CLIMÁTICAS KÖPPEN-GARCÍA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SILA <i>RAQUEL SEGUNDO SANDOVAL, LUIS RICARDO MANZANO SOLÍS, ROBERTO FRANCO PLATA, VÍCTOR HUGO GUERRA COBIÁN</i>	105
MODELO DE INTERACCIÓN ESPACIAL PARA MEDIR LA ACCESIBILIDAD DE CONJUNTOS URBANOS DE INTERÉS SOCIAL DE LA ZONA METROPOLITANA DE TOLUCA <i>BEATRIZ RODRÍGUEZ GUZMÁN, ALFONSO MEJÍA MODESTO</i>	129
EL ESPACIO COMPARTIDO Y LA ACCESIBILIDAD UNIVERSAL EN EL ENTORNO URBANO <i>ESKA ELENA SOLANO MENESES</i>	153
MOVILIDAD URBANA NO MOTORIZADA Y SU IMPACTO EN LA ECONOMÍA LOCAL DEL ÁREA URBANA DE TEXCOCO <i>ISRAEL GUTIÉRREZ ALONSO</i>	175
CRONOTOPOS Y SUS LENGUAJES: TERRITORIALIZACIÓN DEL ECOTURISMO EN EL PARQUE NACIONAL EL COCUY, BOYACÁ, COLOMBIA, SIGLO XXI <i>YENNY CONSTANZA ROMÁN NÚÑEZ</i>	197

# PRODUCCIÓN CIENTÍFICA SOBRE EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN IBEROAMÉRICA: CONTRIBUCIONES DE LAS REDES DE INVESTIGADORES

Fernanda de Souza Sezerino

Lucas Mansur Schimaleski

Eduardo Vedor de Paula

Tânia Mara da Rosa Garcia

## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, los estudios sobre la importancia del ordenamiento territorial, como política de Estado e instrumento de ordenamiento territorial, han ganado protagonismo en la academia y en las agendas políticas de algunos países, en especial, en aquellos que apuntan al Estado de Bienestar (Sanabria Pérez, 2014). Se observa que los países iberoamericanos se han dedicado al estudio e implementación del ordenamiento territorial (OT) u ordenación del territorio. Degele y Pedregal (2022) explican que, en Europa, a partir de la década de 2000, se ha producido un cambio en el discurso territorial, que valora la diversidad territorial y apunta a una Europa inclusiva, inteligente y sostenible. Mientras que, en América Latina, según las autoras, se fortalecen los movimientos de resistencia socioambiental y se estimula el pensamiento crítico de este modelo extractivista y depredador de los recursos naturales y la búsqueda de otras perspectivas territoriales, en especial, las feministas y las centradas en el Buen Vivir (Degele y Pedregal, 2022).

Fernández Córdoba y Vivanco Cruz (2017) agregan que el territorio y el urbanismo se han incorporado a la legislación nacional, como en el caso de Ecuador, y también se han adoptado criterios de sostenibilidad en las propuestas de planificación en Argentina (García Collazo, Panizza, Paruelo, 2013). En Brasil, el ordenamiento territorial destaca en el texto de su Constitución Federal (Brasil, 1988, art. 182), aunque este país aún no ha implementado una Política Nacional de Ordenamiento Territorial (PNOT).

A pesar de estas diferentes iniciativas, la definición de OT aún no está consolidada en Iberoamérica. Por ejemplo, en la comprensión de Zoido Naranjo (1998), en la Carta Europea de Ordenación del Territorio (CEOT, 1983), la ordenación del territorio, todavía es un concepto en construcción, de carácter polisémico, sujeto a diversas interpretaciones sin que exista una definición universal que satisfaga a todos. Para este autor, se confunden los resultados con el instrumento al definir la ordenación del territorio como “la expresión espacial de la política económica, social, cultural y ecológica de cada sociedad” y agregar que es “una disciplina científica, una técnica administrativa y una política” (Zoido Naranjo, 1998, p. 2; traducción de los autores).

Para Bengoetxea Urkizu (2000) se trata de uno de los conceptos más imprecisos del derecho público. Massiris Cabeza (2002) también afirma que el ordenamiento territorial ha sido objeto de diversas interpretaciones en el mundo. Sanabria Pérez (2014) coincide con los autores y afirma que muchos investigadores y especialistas consideran que este es uno de los términos más complejos y polisémicos y que a menudo se utiliza de forma errónea. Sin embargo, la autora señala que existen algunos puntos en común en estas definiciones, en lo que se refiere a la definición de prioridades para el uso del territorio, apuntando a un uso democrático y funcional, al planificar de manera holística y considerar sus potencialidades.

Esta diversidad de conceptos, definiciones, interpretaciones e incluso concepciones teórico-prácticas y técnico-científicas dificulta el análisis y la replicación de iniciativas positivas, y de producción científica, en especial, a través de análisis comparativos. Como señala Refinetti Martins (2004, p. 145; traducción de los autores), es indispensable, frente a los desafíos actuales, sobre todo, en América Latina, “identificar nuevos marcos y procedimientos para la planificación territorial y también para la producción de conocimiento, que favorezcan efectivamente el debate democrático del futuro y la reducción de las desigualdades sociales”. Los autores agregan que identificar y comprender la problemática, así como los procesos y especificidades similares en los países vecinos, es fundamental para una revisión crítica de los paradigmas que están orientando las acciones e intervenciones político-administrativas en el territorio y minimizando las desigualdades socio-territoriales.

En este contexto, con el objetivo de “cooperación y trabajo en grupo en el ámbito del ordenamiento, la planificación del desarrollo territorial y la observación y gobernanza territorial”, en 2007 se creó la Red Iberoamericana de Observación

Territorial (RIDOT, 2021, p. 1). En la actualidad, la red está conformada por representantes de 11 países: Brasil, Uruguay, Argentina, Chile, Ecuador, Colombia, Venezuela, Cuba, México, Portugal y España. En su reglamento, señala que su principio rector es el “análisis y diagnóstico de las dinámicas territoriales en el espacio ibero-americano”, pero también, busca proponer, en conjunto, indicadores, métodos nuevos para la elaboración y evaluación de instrumentos de ordenamiento y planificación territorial, así como políticas orientadas a promover el desarrollo territorial sostenible y las buenas prácticas de gobernanza territorial (RIDOT, 2021, p. 1). Desde 2009, RIDOT organiza *workshops* bianuales para reunir a los integrantes de la red e investigadores, técnicos, políticos y otras personas interesadas en reflexionar sobre los procesos y tendencias del ordenamiento, planificación y gestión territorial en Iberoamérica. En estos eventos, los participantes presentan trabajos técnicos y científicos para ser debatidos en los ejes temáticos, a saber: Eje 1 - Competitividad *versus* justicia territorial; Eje 2 - Sistemas y dinámicas territoriales: revisión de las interrelaciones urbano-rurales; Eje 3 - Herramientas y sistemas de apoyo para la toma de decisiones, la gestión y ordenamiento territorial; Eje 4 - El territorio y su ordenamiento en la agenda política, y Eje 5 - Medio ambiente y territorio: sostenibilidad y adaptación.

Asimismo, el objetivo de esta investigación es hacer un análisis bibliométrico de la producción científica sobre ordenamiento territorial en Iberoamérica. A partir de esto, se puede identificar si existe alguna relación entre los autores y sus instituciones con los miembros de RIDOT y comparar los resultados encontrados con las estadísticas de las publicaciones de los *workshops* de la red.

## ANTECEDENTES

La bibliometría es una técnica consolidada para el estudio de la producción científica en un área determinada del conocimiento. Sobre el tema del ordenamiento territorial, se observa que la investigación bibliométrica aún no ha sido ampliamente explorada.

Muñoz Casanova *et al.* (2021) mapearon la literatura sobre ordenamiento territorial, centrándose en documentos publicados en inglés a partir de los términos de búsqueda *desarrollo territorial*, *territorial development*, *territorial planning*, *urban land use plan* y *territorial ordering*, en la plataforma Scopus. Los autores buscaron

comprender la tendencia de crecimiento y la distribución geográfica de la producción científica sobre el ordenamiento territorial. Como resultado, observaron que las primeras publicaciones son de la década de 1980, con un avance solo a partir de la década de 2000, por lo que en la última década (2010-2020) el crecimiento fue más significativo en número de publicaciones. Los autores identificaron que la producción científica está liderada por Europa, con un 93% de autores de sociedades angloeuropeas; sin embargo, se destacaron las colaboraciones en publicaciones entre Países Bajos, Reino Unido y China, aunque la mayoría de las publicaciones fueron independientes.

El término equivalente a ordenamiento territorial, en inglés, *territorial ordering*, no es muy utilizado, y los estudios sobre planificación territorial o uso del suelo son más comunes, como también se observa en la investigación de Muñoz Casanova *et al.* (2021). Además, considerando el papel protagónico de los países latinoamericanos en la reordenación del territorio, para la promoción del Estado de Bienestar Social o el Buen Vivir, destacado por Ramos de Camargo (2009) y por Degele y Pedregal (2022), se hacen relevantes los estudios bibliométricos que consideren la producción científica en portugués y en español.

## CONSIDERACIONES TEÓRICAS

Como ya se mencionó, la definición del ordenamiento territorial no está consolidada en la academia ni siquiera técnicamente. Para Ramos de Camargo (2009, p. 22) este término se remonta a la concepción capitalista global del orden y, por lo tanto, “reproduce en el espacio geográfico sus perspectivas de más-valía”. Así, para Ramos de Camargo (p. 22; traducción de los autores), “la planificación-gestión se convierte en un instrumento del capital”, sin considerar las demandas locales. Sin embargo, como señala el autor, en el proceso de globalización, “los flujos están lejos de ser controlados, generando grandes incertidumbres para quienes planifican, debido a la gran velocidad y no linealidad de sus redes” (Ramos de Camargo, 2009, p. 23; traducción de los autores). Este autor, a partir de la idea de complejidad presentada por Edgar Morin, agrega que “la idea de orden está involucrada en una dinámica de constantes sintropatías evolutivas, en la que al orden le sucede el desorden, generando organización y un nuevo nivel de orden” (Ramos de Camargo, 2009, p. 22; traducción de los autores).

Al respecto, Mansur Schimaleski y Vedor de Paula (2020), a partir de este trabajo de Ramos de Camargo (2009), afirman que

por un lado, está la planificación tradicional positivista / determinista, que busca la previsibilidad, la certeza, un camino único (linealidad) y se basa en el orden como control y poder. Por otro lado, está el paradigma de la autoorganización y la complejidad, en el que la previsibilidad y las certezas son reemplazadas por la probabilidad, la unicidad por la pluralidad de posibilidades de camino (espiral), a partir de las concepciones de sistemas de la Teoría General de Sistemas y Teoría del Caos, así como en el dialogismo del orden y el desorden (Mansur Schimaleski y Vedor de Paula, 2020, p. 194).

La Carta Europea de Ordenación del Territorio (1983, p. 2) ha sido un referente para planificadores y autoridades de diferentes países. Este documento define que ordenamiento territorial es, al mismo tiempo, “una disciplina científica, una técnica administrativa y una política concebida con un enfoque interdisciplinario y global, cuyo objetivo es el desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio” (Carta Europea de Ordenación del Territorio, 1983, p. 2, traducción de los autores).

En este sentido, Silvana Giaimo (1997, p. 9; traducción de los autores) define ordenamiento territorial como la

expresión espacial de la política socioeconómica, cultural y ecológica de una sociedad. Actividades de planificación interdisciplinar y sistemática que deben asegurar la coordinación y compatibilidad de las tendencias y capacidades de un territorio y la construcción de escenarios posibles para optimizar la calidad de vida de su población.

A pesar de las diferentes definiciones, Massiris Cabeza (2002) explica que, en general, el ordenamiento territorial ha buscado orientar o regular el uso del suelo, la ocupación y la transformación del territorio con el fin de lograr un orden compatible y armónico con las potencialidades y limitaciones naturales, así como el bienestar y la seguridad de sus habitantes. En este sentido, Ramos de Camargo (2009, p. 48) afirma que

La gestión vinculada al ordenamiento debe buscar la participación popular constante no como discurso político, sino como fundamento económico, en el que las comunidades, conscientes de sus posibilidades y limitaciones, busquen la sintropía constante con otras comunidades que están interconectadas con ellas. (Ramos de Camargo, 2009, p. 48)

En este escenario de múltiples definiciones e interpretaciones del ordenamiento territorial y de la necesidad de una conceptualización que minimice las malas interpretaciones y aplicaciones, se destacan las experiencias en América Latina, basadas en la Teoría de la Complejidad y centradas en el Buen Vivir. Así, Massiris Cabeza (2002) afirma que existen dos visiones predominantes del ordenamiento territorial: una pasiva, más tradicional, normativa, basada en instrumentos de regulación físico-espacial, referida al uso y ocupación del territorio, en especial, a escala local —urbana y municipal—, y la otra, activa, más actual, basada en instrumentos de intervención territorial, por lo general a escala regional o nacional, que busca alcanzar un desarrollo territorial sostenible.

Esta visión más tradicional de la ordenación del territorio se asocia a menudo con la identificación y la solución de problemas territoriales. La categoría de problemas territoriales, sin embargo, no cubre la magnitud de la demanda de ordenamiento. Hay fenómenos territoriales que no se caracterizan como problemáticas y que se beneficiarían enormemente de las posibles intervenciones del ordenamiento territorial. La distribución de la población en relación con la infraestructura instalada y el equipamiento urbano es un ejemplo. Requiere de respuestas del ordenamiento que se han desplegado en diferentes planes sectoriales con repercusión territorial, con el fin de dotar al suelo de la cualificación necesaria para el mejor servicio a la población.

La distinción entre estas posibilidades de respuesta caracteriza dos modalidades de intervención, respectivamente: las intervenciones destinadas a seleccionar la alternativa más adecuada entre diversas formas de usos posibles y aceptables y la intervención dirigida a armonizar los múltiples usos de un territorio determinado y sus recursos naturales (Carvalho Santos, 2005), que se aproxima a la visión activa, propuesta por Massiris Cabeza (2002).

## METODOLOGÍA

En esta investigación, como procedimiento metodológico se utilizó la técnica de la investigación bibliométrica. El término *bibliometría* se originó a partir de un término anterior creado por Hulme, entre 1922 y 1923, denominado *bibliografía estadística*. Más tarde, se introdujo el término bibliometría creado por Paul Otlet, en 1934 (Pritchard, 1969; Peres Vanti, 2002; Araújo, 2006). De acuerdo con Urbizagástegui

Alvarado (2007), la práctica bibliométrica ya se venía dando mucho antes de la definición del término, fue utilizada en varios estudios previos de las más variadas áreas de la ciencia, en diferentes partes del mundo, en diferentes épocas.

La investigación bibliométrica consiste en la aplicación de técnicas estadísticas y matemáticas, por lo que es una práctica frecuente en la investigación en ciencias sociales aplicadas. Su aplicación ayuda en la comprensión de nuevos temas y también puede ayudar en la identificación de tendencias para futuras investigaciones (Quevedo Silva *et al.*, 2016). Con los recortes en los recursos de las instituciones de enseñanza e investigación, esta técnica y sus indicadores se vuelven relevantes para comprender el estado del arte en un tema determinado y pueden ayudar en la toma de decisiones relacionadas con la asignación de recursos en nuevas investigaciones, como lo informó King (1987).

Para la investigación se utilizó la base de datos Scopus, a través del acceso del Portal de Revistas de la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) brasileño. Scopus es una base de datos multidisciplinaria, considerada la mayor base de datos de resúmenes y citas de literatura revisada por pares: revistas científicas, libros, procesos de congresos y publicaciones del sector. Esta base de datos ofrece un panorama integral de la producción mundial de investigación en las áreas de ciencia, tecnología, medicina, ciencias sociales, artes y humanidades, y proporciona herramientas para monitorear, analizar y visualizar las investigaciones encontradas de acuerdo con los criterios de búsqueda definidos por los investigadores (Elsevier, 2022).

En la base de datos Scopus, la búsqueda se hizo con los siguientes filtros: *documents* y por *article title*, *abstract*, *keywords*, con los términos *ordenamiento territorial* (en español) y *ordenamento territorial* (en portugués), ya que el objetivo de la investigación es analizar la producción científica en la región iberoamericana. La búsqueda se llevó a cabo en agosto de 2022, sin periodo de tiempo.

Los datos generados por la base de datos se trabajaron en el software Microsoft Excel, versión 2007, con el que también se generaron las gráficas. Además, se utilizó la propia herramienta de análisis de resultados (*analyze search results*) de Scopus, mientras que para crear la nube de palabras se utilizó el software gratuito en línea Infogram.

Para el análisis de los datos se seleccionaron los siguientes criterios: año de publicación, tipo de documento, idioma de publicación, país de origen, instituciones de afiliación, título de la revista y palabras clave de los documentos.

La información sobre RIDOT fue consultada en el sitio web de la red, donde se encuentran disponibles el reglamento y las instituciones afiliadas. Los datos se complementaron a partir de información obtenida directamente de los miembros de la red por los autores del trabajo en las asambleas en línea hechas por la red, entre abril y agosto de 2022.

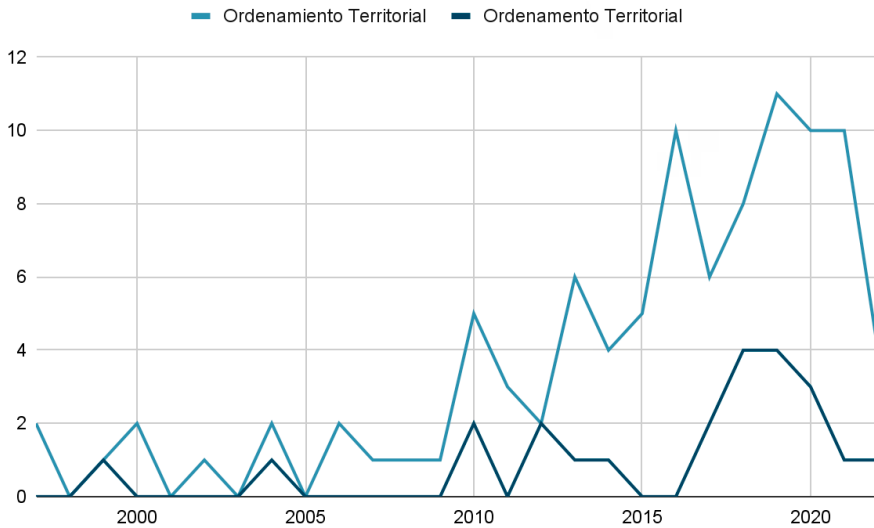
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La búsqueda en la base de datos Scopus dio como resultado 121 trabajos, por lo que 98 (81%) estudios se basaron en la búsqueda del término en español *ordenamiento territorial* y 23 (19%) estudios con el término en portugués *ordenamento territorial*. Del total, el 86% son artículos científicos, mientras que el resto de los documentos son *conference paper* y *conference review* (6%), *review* (4%), editorial (2%) y otros (nota, erratas o documento de datos) (2 por ciento).

Como la investigación se hizo con base en los términos en portugués y español, en consecuencia, la mayoría de los trabajos originales también están en español (75%) y portugués (24%), los demás en inglés (1 por ciento).

Se observa que la publicación científica sobre ordenamiento es relativamente reciente, se identificó el primer documento en investigación bibliométrica en 1997. Ha habido un aumento en las publicaciones desde 2009, año en que RIDOT comenzó a organizar los *workshops* (véase figura 1).

Figura 1. Distribución anual de la producción científica sobre ordenamiento territorial



Fuente: Scopus, 2022.

Las palabras clave más utilizadas en los documentos encontrados en la investigación son *planificación territorial*, *planificación del uso del suelo* y *gestión territorial*, ambas en inglés, como se ilustra en la figura 2. También se observó que se destacaron dos países utilizados como palabras clave: México y Brasil.

Figura 2. Nube de palabras con las *keywords* resaltadas en la búsqueda bibliométrica

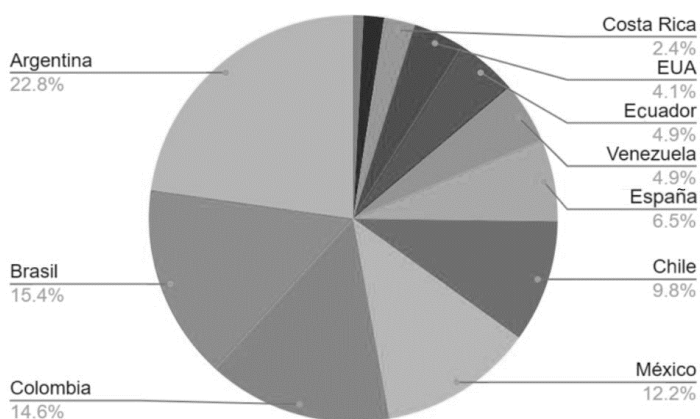


Fuente: elaboración propia (2022), creado con la aplicación Infogram.

En una consulta paralela, con el fin de comparar el resultado con palabras clave similares, se observó que el número de estudios encontrados es aproximado a los encontrados por los términos *ordenación territorial* (34 documentos); *ordenación del territorio* (57 documentos); *planificación territorial* (68 documentos) y *gestión territorial* (36 documentos). Al consultar los términos en inglés, por el contrario, el número de documentos encontrados en la plataforma Scopus es más expresivo: 1 763 documentos con el término *territorial management* y 12 181 con el término *spatial planning*. Como palabras clave relacionadas, se destacan: *urban planning*, *sustainable development* y *marine spatial planning*. También se observó que la búsqueda de términos en inglés dio lugar a obras desde finales de la década de 1960. Aunque se trata de un análisis comparativo preliminar, estos datos iniciales sugieren que este tema se discute recientemente en la academia en Iberoamérica.

En cuanto al país de origen de los documentos, se observa que el mayor número de obras proviene de Argentina (22.8%), seguido de Brasil (15.4%), Colombia (14.6%) y México (12.2%), respectivamente. También se identificaron encuestas en Chile, España, Venezuela, Ecuador, Estados Unidos, Portugal y Timor Leste (véase figura 3). Con excepción de Cuba y Uruguay, que se incorporaron a RIDOT en 2021, el resto de los países iberoamericanos que no contaban con producciones científicas identificadas en la búsqueda bibliométrica coinciden con países que aún no forman parte de la red.

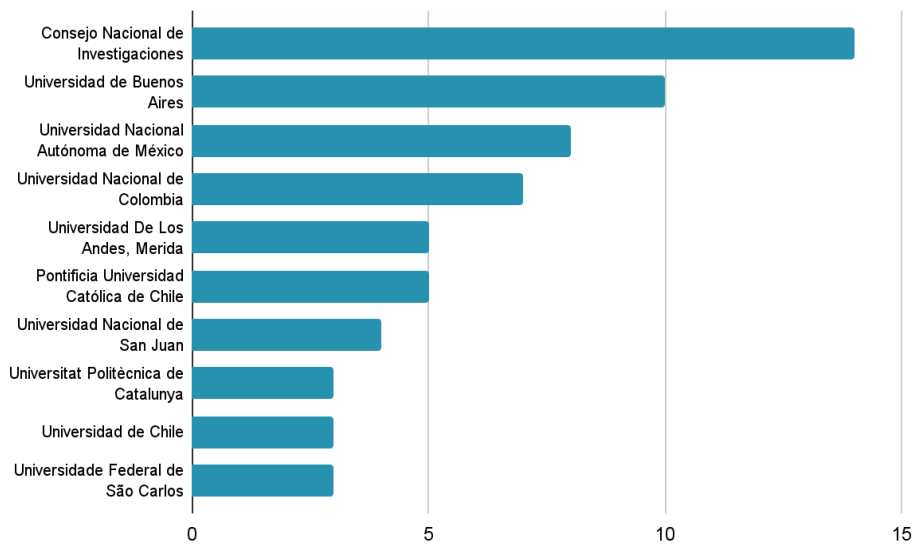
Figura 3. Producción científica sobre ordenamiento territorial por países



Fuente: elaboración propia, 2022.

En cuanto a las instituciones afiliadas, se destacan el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y la Universidad de Buenos Aires, en Argentina, que representan el 20% de la producción científica; seguidas por la Universidad Nacional Autónoma de México (7%), y la Universidad Nacional de Colombia (6%) (véase figura 4). A pesar de que Brasil fue identificado como el segundo país con más resultados en la encuesta, se observó que no existe frecuencia de publicaciones de la misma institución. La Universidad Federal de São Carlos, en São Paulo, aparece en el décimo lugar, con tres documentos, entre las instituciones con mayor número de publicaciones. Sin embargo, se identificaron publicaciones de otras 21 instituciones brasileñas con documentos publicados sobre ordenamiento territorial.

**Figura 4. Producción científica sobre ordenamiento territorial por instituciones afiliadas**



Fuente: elaboración propia, 2022.

Al comparar los datos, con los miembros actuales de RIDOT, es posible observar que solo el 9% de las instituciones afiliadas de los autores encontrados en la investigación están afiliadas a la red, pero representan alrededor del 18% de los documentos encontrados en la investigación. Sin embargo, al comparar los resultados encontrados

por la búsqueda bibliométrica en Scopus con los trabajos publicados en los *workshops* organizados por RIDOT, se observa que existe un número significativo de publicaciones que no son contabilizadas por la metodología utilizada (véase tabla 1).

**Tabla 1. Número de artículos publicados por *workshops* RIDOT**

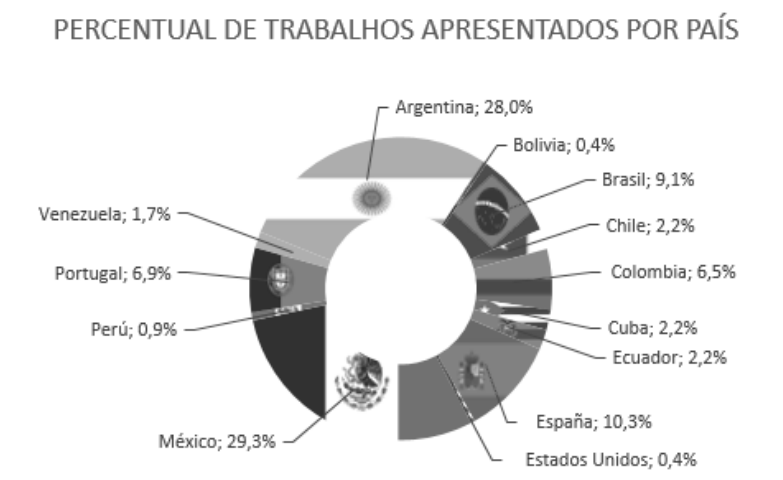
RIDOT	PAÍS DE AUTORÍA	NÚM. DE TRABAJOS	%	TOTAL
I <i>Workshop</i> RIDOT (Mendoza, Argentina - 2009)	Argentina	1	7.1%	<b>14</b>
	Colombia	1	7.1%	
	Cuba	1	7.1%	
	España	4	28.6%	
	México	6	42.9%	
	Venezuela	1	7.1%	
II <i>Workshop</i> RIDOT (Toluca, México - 2011)	Argentina	1	7.1%	<b>14</b>
	Colombia	1	7.1%	
	Cuba	1	7.1%	
	España	2	14.3%	
	México	7	50.0%	
	Portugal	1	7.1%	
	Venezuela	1	7.1%	
III <i>Workshop</i> RIDOT (Bogotá, Colombia - 2013)	Argentina	1	5.0%	<b>20</b>
	Bolivia	1	5.0%	
	Colombia	3	15.0%	
	Cuba	1	5.0%	
	Ecuador	1	5.0%	
	España	4	20.0%	
	México	6	30.0%	
	Perú	1	5.0%	
	Portugal	1	5.0%	
	Venezuela	1	5.0%	

RIDOT	PAÍS DE AUTORÍA	NÚM. DE TRABAJOS	%	TOTAL
IV <i>Workshop</i> RIDOT (Lisboa, Portugal - 2015)	Argentina	2	7.4%	27
	Brasil	4	14.8%	
	Colombia	1	3.7%	
	Cuba	1	3.7%	
	España	8	29.6%	
	México	2	7.4%	
	Portugal	8	29.6%	
	Venezuela	1	3.7%	
V <i>Workshop</i> RIDOT (Mendoza, Argentina - 2017)	Argentina	58	55.2%	105
	Brasil	13	12.4%	
	Chile	5	4.8%	
	Colombia	7	6.7%	
	Ecuador	2	1.9%	
	España	4	3.8%	
	Estados Unidos	1	1.0%	
	México	11	10.5%	
	Perú	1	1.0%	
	Portugal	3	2.9%	
VI <i>Workshop</i> RIDOT (Toluca, México - 2019)	Argentina	2	3.8%	52
	Brasil	4	7.7%	
	Colombia	2	3.8%	
	Cuba	1	1.9%	
	Ecuador	2	3.8%	
	España	2	3.8%	
	México	36	69.2%	
	Portugal	3	5.8%	
<b>TOTAL</b>				<b>232</b>

Fuente: elaboración propia, 2022.

Se observó que de los 232 trabajos ya producidos y publicados por los *workshops* RIDOT, cerca del 20% de ellos tienen el término *ordenamiento territorial* en su título y, aproximadamente, el 30% fueron producidos por autores mexicanos, seguidos por autores argentinos (28%) y brasileños (9%) (véase figura 5). Al comparar estos datos con los de la búsqueda Scopus (véase figura 3), se evidencia que algunas de estas publicaciones no están siendo visualizadas en las búsquedas de esta base de datos.

Figura 5. Porcentaje de trabajos presentados en los talleres de RIDOT, por país



Fuente: elaboración propia, 2022.

En un análisis comparativo con las búsquedas del término en inglés, *territorial management*, se observó que el 13% de los estudios son de España, el 7%, de Brasil, y el 4%, de Portugal (países entre los 10 con mayor número de documentos encontrados por la investigación). Con el término *spatial planning*, España es el único país iberoamericano que aparece en la lista de los 10 con mayor número de documentos encontrados en la base de datos Scopus, lo que representa el 4% del total. Estos datos ponen de manifiesto la importancia de ampliar la búsqueda y el seguimiento de la producción científica sobre ordenamiento territorial en Iberoamérica, considerando las palabras clave en inglés, que es la principal utilizada en ciencia, especialmente en los artículos publicados en revistas. Para cumplir con los criterios de las revistas más prestigiosas a nivel internacional, se puede estar priorizando la producción en este

idioma y con palabras clave similares. Otro análisis importante que debe ser explorado es la relevancia de estos artículos científicos publicados sobre el ordenamiento territorial en Iberoamérica, con la aplicación de la *Methodi Ordinatio*, por ejemplo, propuesta por Negri Pagani, Kovaleski y Martins Resende (2015).

Como ya señaló Subramanyam (1983), la colaboración, de diferentes tipos, en la producción científica varía según la disciplina o el área temática y los métodos bibliométricos son eficientes para explorar las posibles correlaciones entre colaboración y productividad y colaboración y apoyo financiero a la producción científica, por ejemplo. Lo que se observa con esta investigación inicial es que la producción científica sobre *ordenamiento territorial* tiene el potencial de correlacionarse con las nuevas producciones desarrolladas por RIDOT; sin embargo, es necesario monitorear estas publicaciones y analizarlas más a fondo, con la aplicación de otros métodos combinados.

## CONCLUSIONES

Se trata de una investigación exploratoria y preliminar, y es necesario profundizar la búsqueda en otras bases de datos para tener un resultado más efectivo sobre la producción científica en materia de ordenamiento territorial en Iberoamérica. Sin embargo, los resultados iniciales mostraron que las publicaciones sobre el tema, especialmente en América Latina, son relativamente recientes, de las últimas dos décadas. Otros términos más consolidados en geografía y otras ciencias afines, como la planificación y la gestión territorial, tienen un número más expresivo de documentos encontrados en la base de datos Scopus, en especial, en inglés.

Si bien la correlación de los resultados de la investigación con la Red Iberoamericana de Observación Territorial no fue expresiva, representa alrededor del 18% de los resultados encontrados, se puede observar que el aumento de la producción científica sobre este tema coincide con el año de creación de la red. Las nuevas hipótesis pueden ser contrastadas en estudios complementarios: *a)* las instituciones miembros de RIDOT no están divulgando sus resultados de investigación en documentos científicos y revistas incluidas en la base de datos Scopus; *b)* RIDOT no está trabajando eficazmente con publicaciones de investigación y de redes; *c)* las instituciones que han publicado trabajos con el término *ordenamiento territorial*, indexado en Scopus, se insertan en

redes científicas distintas a RIDOT, y *d*) otras bases de datos concentran un mayor número de estudios y publicaciones sobre este tema. La investigación también se puede complementar con otros métodos, como el uso de *software* para el análisis de redes bibliométricas.

Sin embargo, a pesar de la naturaleza exploratoria y preliminar, esta investigación es relevante y puede apoyar a RIDOT, a partir de la identificación de instituciones con potencial para integrarse a la red e iniciar nuevos trabajos colaborativos e investigaciones integradas. Además, un estudio futuro puede centrarse en proponer un sistema de seguimiento y análisis continuo de la investigación RIDOT. De esta manera, la red podría construir indicadores que muestren si sus objetivos están siendo alcanzados y las potencialidades y debilidades que necesitan mayor atención por parte de los investigadores e instituciones afiliados. Esta propuesta puede ser replicada para otras redes científicas que deseen monitorear el impacto de sus investigaciones, proyectos y publicaciones, ya sea en el tema de planificación, uso y gestión del suelo o cualquier otra área de la ciencia.

## REFERENCIAS

- Araújo, C. A. (2006). Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. *Em Questão*, 12(1), pp. 11-32.
- Bengoetxea Urkizu, J. A. (2001). Principios Jurídicos para la Ordenación del Territorio. *Azkoaga*, vol. 8, pp. 79-101.
- Brasil. (1998). *Constituição da República Federativa do Brasil*. Constituição (planalto.gov.br)
- Carta Europea de Ordenación del Territorio. [CEOT]. (1983). <https://www.uco.es/~gt1tomam/master/ot/cartaeuropea1983.pdf>.
- Carvalho Santos, T. 2005. *Algumas considerações preliminares sobre Ordenamento Territorial*. Anais da Oficina sobre a Política Nacional de Ordenamento Territorial. Ministério da Integração Nacional, pp. 49-54.
- Degele, P. E. y Pedregal, B. (2022). North-South Dialogue on Territorial Policies and Discourses: Insights for the Future of Nature Conservation. *Land*, 11(7), 994, pp. 1-23.
- ELSEVIER. *What is Scopus about?* (2022). [https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a\\_id/15100/supporthub/scopus/](https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/15100/supporthub/scopus/)

- Fernández de Córdoba, M. B. y Vivanco Cruz, L. (2017). Territorial legislation and town planning in Ecuador and their shared responsibilities. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 49 (194), pp. 713-726.
- García Collazo, M. A. G., Panizza, A. y Paruelo, J. M. 2013. Native forest land management: Zoning results performed by North Argentinean provinces. *Ecologia Austral*, 23(2), pp. 97-107.
- Gaiimo, S. (1997). *El Ordenamiento Territorial como instrumento de la Gestión Ambiental: el caso de los residuos sólidos*. CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/>
- King, J. (1987). A review of bibliometric and other science indicators and their role in research evaluation. *Journal of Information Science*, 13(5), pp. 261-276.
- Mansur Schimaleski, L. y Vedor de Paula, E. (2020). Ordenamento Territorial: Coletânea de Textos com Diferentes Abordagens no Contexto Brasileiro. [Reseña bibliográfica.] *Projección*, vol. XIV, pp.193-200.
- Massiris Cabeza, A. (2002). Ordenación del território en America Latina. *Scripta Nova. Revista eletrônica de geografia y ciencias sociales*. Universidad de Barcelona, VI (125), pp. 105-132.
- Muñoz Casanova, R., Díaz Ponce, M., González Osorio, B. y Ferrer Sánchez, Y. (2021). Mapeo de literatura sobre ordenamiento territorial, una revisión bibliométrica. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, núm. E44, pp. 272-283.
- Negri Pagani, R., Kovaleski, J. L. y Martins de Resende, L. (2015). Methodi Ordinatio: A Proposed Methodology to Select and Rank Relevant Scientific Papers Encompassing the Impact Factor, Number of Citation, and Year of Publication. *Scientometria*, vol. 105, pp. 2109-2135.
- Peres Vanti, N. A. (2002). Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento. *Ciência da Informação*, 31(2), pp. 152-162.
- Pritchard, A. (1969). Statistical Bibliography or Bibliometrics? *Journal of Documentation*, 25(4), pp. 348-349.
- Quevedo Silva, F., Santos, E. B. A., Brandão, M. M. y Vils, L. (2016). Estudo bibliométrico: orientações sobre sua aplicação. *Brazilian Journal of Marketing ReMark*, 15(2), pp. 246-262.
- Ramos de Camargo, L. H. (2009). Ordenamento territorial e complexidade: por uma reestruturação do espaço social. En Gomes Almeida, F., Alves Soares, L. A. [Coord.]. *Ordenamento territorial: coletânea de textos com diferentes abordagens no contexto brasileiro*. Bertrand Brasil, pp. 21-60.

- Refinetti Martins, M. L. (2004). Documento: Red Iberoamericana de Investigadores sobre Globalización y Territorio. *Cadernos PROLAM/USP*, Año 3. Vol. 2, pp. 143-147.
- RIDOT. 2021. *Red Iberoamericana de Observación Territorial. Reglamento RIDOT*. <https://ridot.uncuyo.edu.ar/documentacion>
- Sanabria Pérez, S. (2014). La ordenación del territorio: origen y significado. *Terra*, 30 (47), pp. 13-32.
- Subramanyam, K. (1983). Bibliometric studies of research collaboration: A review. *Journal of Information Science*, 6 (1), pp.33-38.
- Urbizagástegui Alvarado, R. (2007). A bibliometria: história, legitimação e estrutura. En Batista Brandão Toutain, L. M. [Coord.]. *Para entender a ciência da informação*. EDUFBA, pp. 185-218.
- Zoido Naranjo, F. Z. (1998). Geografía y ordenación del territorio. *Scripta Vetera: Edición electrónica de trabajos publicados sobre Geografía y Ciencias Sociales*. <http://www.ub.es/geocrit/sv-77.htm>

# EVALUACIÓN DE LOS COMPONENTES DE GESTIÓN MUNICIPAL ANTE LOS PROCESOS DE METROPOLIZACIÓN EN TOLUCA

Pedro Daniel Guzmán Gil  
Juan Roberto Calderón Maya

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el crecimiento y la expansión de los espacios urbanos son hechos que marcan la vida en comunidad de la sociedad, la humanidad se caracteriza por ser predominantemente urbana y ha logrado que poco más del 55% de la población mundial se asiente en este tipo de entornos, se estima que esta condición continúe incrementándose en las próximas décadas hasta alcanzar un 70% para el 2050, lo que traerá como consecuencia la consolidación del fenómeno urbano como uno de los más importantes en la historia de la humanidad (Banco Mundial, 2020).

Algo que se reconoce con los procesos de urbanización recientes es que promueven una dinámica que potencia los atributos de aglomeración de personas y todo tipo de actividades en los ambientes urbanos, lo que ocasiona espacios que conservan una inercia de funcionamiento con comunidades vecinas, con las que se presenta un proceso de interacción de gran intensidad. Estos lugares reciben el nombre de *metrópolis*.

Las metrópolis son espacios de grandes dimensiones en los que se tiene una cantidad considerable de población hacinada; conservan un área que continuamente se está urbanizando, y mantienen regiones bajo un comando económico, social y territorial compartido. Se trata de áreas que a partir de un núcleo principal estimulan la rápida urbanización de áreas vecinas e involucran diversos núcleos que se integran a una nueva realidad socioterritorial, lo que sobrepasa las unidades político-administrativas (principalmente municipios) que las contienen (Guzmán, 2019; Iracheta, 2020).

Por lo general, este tipo de ciudades inciden favorablemente en el desarrollo económico, social y cultural de las personas del lugar en que se localizan; sin embargo, en contextos como el mexicano, las situaciones y esquemas planteados para su administración y gestión, generan escenarios desfavorables que incentivan condiciones conflictivas que deterioran la calidad de vida de sus habitantes, cada vez es más frecuente observar condiciones que incrementan la pobreza, la desigualdad, la segregación, la insustentabilidad, la baja productividad y la ineficiente provisión de servicios, equipamientos e infraestructuras (Arias, 2017; Carrera, 2017).

Esta situación se origina porque no se establecen mecanismos que fomenten una adecuada coordinación y asociación entre las demarcaciones que contienen a la metrópoli, y presentan una división administrativa que dificulta la atención de las demandas ciudadanas y la solución de los problemas críticos (Ziccardi, 2017).

En este contexto es relevante orientar los esfuerzos de coordinación metropolitana hacia un esquema que permita tomar y ejecutar decisiones trascendentes para el desarrollo armónico de la ciudad; al definir políticas públicas y programas que son necesarios para llevar a cabo la organización de la vida social, para obtener la legitimidad política que se requiere y articular los diversos intereses de los actores que configuran la metrópoli. De esta manera, la coordinación metropolitana debe ser vista como un proceso de reforma y cambio institucional, que responde a los desafíos sociales para crear modelos dignos hacia la resolución de demandas y problemas comunes (Vélez, 2015).

Ante tales condiciones los municipios desempeñan un papel relevante en los procesos de gestión metropolitana, pues a través de sus acciones de asociación se generan las condiciones suficientes para promover proyectos integrales que brinden bienestar a la población, entre las acciones destacadas se encuentran: brindar los servicios públicos básicos, generar los planes de desarrollo local, promover el desarrollo comunitario, otorgar asistencia social, mantener una vinculación cercana con la ciudadanía y regular los procesos de urbanización.

El presente trabajo analiza y evalúa los componentes de gestión metropolitana que existen en los municipios del Estado de México, para identificar cómo se integra y establece un sistema de gestión orientado hacia una coordinación metropolitana eficiente, haciendo hincapié en sus modalidades de conformación y su funcionamiento, esto permite distinguir debilidades estructurales en el ámbito gubernamental existente y hacer propuestas para fortalecerlo.

El referente espacial que se retoma es la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT), que conserva un sistema de gestión metropolitana con el potencial para realizar procesos de coordinación con un mayor grado de integración y complementariedad, pero que aún no logra consolidar un estándar adecuado de funcionamiento.

Para analizar los mecanismos de gestión metropolitana en la ZMT se hace una valoración de semejanza con una estimación de tipo ordinal y nominal para evaluar los componentes de coordinación metropolitana y el grado de asociación entre ellos para el ámbito de gobierno municipal.

El documento se estructura en tres apartados, en el primero se documenta el contexto de coordinación metropolitana ante las condiciones de urbanización que existen a nivel nacional y, en particular, en el caso de la ZMT, se muestran y se reflexiona sobre las características principales que conducen hacia este tipo de procesos. En segundo lugar, se establecen los parámetros y las características metodológicas que asumirán los procesos de evaluación de los componentes de gestión metropolitana; y, en tercer lugar, se reflexiona acerca de los componentes que requieren un mayor fortalecimiento para los procesos de coordinación metropolitana.

#### ALGUNAS REFLEXIONES SOBRE LOS PROCESOS DE COORDINACIÓN METROPOLITANA EN MÉXICO

En México, el fenómeno de la metropolización tiene particular relevancia, ya que en las ciudades se concentra cerca del 63% de la población nacional, con más de 75 millones de habitantes, distribuidos en 74 zonas metropolitanas (Sedatu, 2020).

Con la tendencia de la población mexicana a vivir en metrópolis, también se ha identificado un estado de crisis que afecta a los habitantes de estos lugares, ya que se percibe un aumento de las condiciones de pobreza, desigualdad, segregación, insustentabilidad, baja productividad, y una inapropiada provisión de servicios, infraestructuras y equipamientos (Arias, 2017).

Uno de los factores principales para dichas dificultades es la falta de una estructura gubernamental apropiada que se dirija a la gestión y planeación de metrópolis y que se complemente las capacidades técnicas que solucionen las dificultades que en ellas acontecen (Garrocho, 2013; Guzmán, 2019).

La integración de un sistema institucional desde los gobiernos que se dedique a la gestión de espacios metropolitanos es un factor estratégico que se debe considerar para mejorar las condiciones de desarrollo de las personas, ya que es a través de estos componentes que se posibilitaría el control y la asignación de todo tipo de recursos (principalmente administrativos); se permite tomar decisiones relacionadas con la convivencia ciudadana, y son el medio a través del que se ejercen las tareas del gobierno, lo que permite alcanzar ciertos niveles de legitimidad política (Cadena, 2004; Ziccardi, 2017).

Si se revisa el ámbito de la gestión metropolitana en México, se observa que la implementación de estrategias desde las estructuras gubernamentales no se ha desarrollado completamente; esto es evidente por el reducido porcentaje de legislación existente para facilitar la coordinación metropolitana; en la ausencia de organismos con injerencia en la toma de decisiones desde una perspectiva ejecutiva, y en los instrumentos insuficientes que se han diseñado para promover el financiamiento y la planeación de estas ciudades.

Una de las propuestas para desarrollar mejores condiciones de bienestar y desarrollo en las metrópolis es fortalecer las capacidades institucionales de los gobiernos, el sector privado y la sociedad, al promover una coordinación a través de la gobernanza (Moreno, 2006; Iracheta, 2009; Pérez, 2013; Vélez, 2015; Venancio, 2016; Guzmán, 2019).

La gobernanza metropolitana es vista como un proceso de reforma y cambio institucional que responde a los desafíos sociales para crear modelos dignos hacia la resolución de demandas y problemas comunes (Vélez, 2015); es decir, refiere a un nuevo paradigma gubernamental con el que se trata de transformar las estructuras institucionales tradicionales en nuevas formas de gobierno: en donde las pretensiones de un sistema de gestión se dirijan a la búsqueda de altos niveles de coordinación intergubernamental e interinstitucional y, a su vez, se centran en un proceso de asociación integral de los diversos sectores, de la sociedad; al tiempo que se promueve el control y la regulación de su comportamiento; así como el funcionamiento o provisión de servicios para el área en su conjunto (Girardo, 2020; Ramírez, 2012).

De esta forma, la gobernanza de las metrópolis implica generar una institucionalidad basada en la responsabilidad común y que resuelva conflictos con un método de cooperación.

Las capacidades institucionales desde la perspectiva de la gobernanza metropolitana se construyen a partir de la combinación tanto de elementos políticos como técnico-administrativos. Con los políticos, se sustenta la apertura de canales que permiten una toma de decisiones mediante el establecimiento de reglas democráticas.<sup>1</sup> Mientras que con los técnico-administrativos se crean nuevos sistemas institucionales que trascienden las reglas tradicionales de funcionamiento con el interés de resolver conflictos (Vélez, 2015).

De esta manera se distingue que el perfil de gestión a través de gobernanza metropolitana se concentra en al menos dos atributos relevantes: por una parte, los componentes que permiten la gestión y la forma en la que operan y se transforman en productos del gobierno; y por otra, el papel que tienen los actores y su influencia en los mecanismos de gestión para realizar todo tipo de arreglos y negociaciones. El presente trabajo, privilegia el análisis del comportamiento de los componentes de gestión involucrados en las metrópolis (marco jurídico, marco organizacional e instrumentos de planeación y financiamiento), pues se identifica que, desde estos se genera el punto de partida para promover un ambiente de cambio o reforma institucional y se determina el umbral de actuación de la gestión.

Un aspecto destacado en el esquema de gestión y gobernanza metropolitana en México es que se ha materializado, a partir de lo que se denomina *intermunicipalidad*, que hace referencia a una coordinación voluntaria entre municipios o ámbitos de gobierno para hacer una o varias tareas con base en un acuerdo formal (Carrera, 2005; Vélez, 2015).

Para complementar las acciones de la coordinación intermunicipal, al interior de algunas zonas metropolitanas se implementaron estrategias que proponen hacer más eficientes los procesos de coordinación; por ejemplo, se planteó la generación de estructuras organizacionales que ofrecen diversos servicios públicos y procesos de asociación metropolitana, desde la configuración de consejos, coordinaciones y/o comisiones que se encargan de la administración de algunos asuntos en esta escala, hasta la incorporación de figuras que planifican y evalúan las condiciones de desarrollo, a través de institutos de planeación y observatorios urbanos (Guzmán, 2019).

Entre los instrumentos de gestión que existen para complementar el ámbito de

---

<sup>1</sup> De esta manera gobernar un área metropolitana implica conformar nuevas políticas, una nueva institucionalidad y una nueva gestión pública en diferentes niveles de acción territorial, que debe contar con la presencia y la concertación de los distintos actores con capacidad de impulsar estrategias en el territorio.

atención de la gestión y gobernanza de las metrópolis se distingue la conformación del *fondo metropolitano federal*,<sup>2</sup> que promovía el financiamiento de algunas acciones, e incentivaba la competitividad económica y las capacidades productivas, también se encargaba de la realización de proyectos para la consolidación urbana (Iracheta e Iracheta, 2014).

Aun con los elementos señalados acerca de los procesos de intermunicipalidad y coordinación metropolitana, todavía se considera que no existen los atributos suficientes para establecer un esquema de gobernanza con un alto grado de integración, que reconozca las necesidades gubernamentales de las metrópolis; debido a que los procesos de coordinación se manejan de forma voluntaria, solo se quedan como estrategias en las que los gobiernos o los actores no participan.

Sin embargo, existen casos como el de la ZMT que registran algunos avances considerados relevantes para revisar propuestas operativas en este ámbito, parte de lo que se observa es el desarrollo de diversos componentes que permiten incorporar estrategias innovadoras en su configuración estructural para tratar de mejorar la calidad de vida de la población, y aunque es posible ver que, hasta el momento, estas estrategias no han alcanzado los estándares deseados, se distingue que son parte de una forma diferente de asumir la gobernanza metropolitana con relación a las estrategias implementadas en el país, ya que se trata de desarrollar una perspectiva integral para lograr procesos de coordinación más efectivos, con repercusiones en lo jurídico, el marco organizacional y en los instrumentos de planeación y financiamiento.

## UNA PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE CAPACIDADES INSTITUCIONALES MUNICIPALES EN LA ZONA METROPOLITANA DE TOLUCA

La ZMT representa la quinta concentración urbana más grande del país con, aproximadamente, 2 537 000 habitantes para el 2020 (Inegi, 2020); está conformada por 22 municipios,<sup>3</sup> que incluyen a la capital del Estado de México (Toluca);<sup>4</sup> se

<sup>2</sup>En la actualidad el Fondo Metropolitano ya no existe.

<sup>3</sup>Existen otras delimitaciones de la ZMT donde se consideran nueve, 15 o 16 municipios.

<sup>4</sup>Los municipios que integran a la ZMT son: Almoloya de Juárez, Almoloya del Río, Atizapán, Calimaya, Capulhuac, Chapultepec, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Oztolotepec, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Rayón, Temoaya, Tenango del Valle, Texcalyacac, Tianguistenco, Toluca, Xalatlaco, Xonacatlán y Zinacantepec.

distingue por una considerable diversidad de actividades comerciales, de servicios y político-administrativas; además de que es un centro de desarrollo regional para población local, estatal e interestatal (Gaspar, 2009; Sedesol y Conapo, 2012, y González, 2006).

En el marco de los procesos de coordinación metropolitana, la ZMT ha consolidado una diversidad de instrumentos y/o mecanismos que han propuesto un esquema de gestión diferente al del contexto nacional. Se caracteriza por buscar una asociación intergubernamental e interinstitucional que agrupa en sus procesos de coordinación los diferentes ámbitos de gobierno (federal, estatal y municipal) y las diversas dependencias que los conforman, para los que se han obtenido resultados como la configuración de un *consejo metropolitano*, dependencias municipales que han sido diseñadas para fortalecer los procesos de coordinación, la integración de un sistema de planeación que fomenta el desarrollo en esta escala, y la participación de la metrópoli en la obtención de recursos por parte del Fondo Metropolitano Federal.

A partir de este contexto se vuelve necesario analizar y evaluar las condiciones que existen en los procesos de gestión metropolitana en la ZMT, para identificar la vinculación entre los diferentes componentes y mostrar sus fortalezas y rendimientos con el propósito de establecer sus posibles oportunidades de desarrollo.

Para ello, es necesario analizar el comportamiento de los mecanismos de gestión, desde la forma en la que se promueven procedimientos de coordinación metropolitana. Esto se logra al evaluar el comportamiento y el reconocimiento de las posibilidades de coordinación intermunicipal, para lo que se retoman la legislación y la planeación urbana; las posibilidades de asociación de los diferentes ámbitos de gobierno (federal, estatal y municipal) para la toma de decisiones y la ejecución de proyectos, así como el reconocimiento de materias y/o criterios específicos susceptibles a considerarse como parte del sistema de gestión.

Una primera aproximación para analizar los procesos de coordinación metropolitana es describir el entorno de coordinación deseado para indicar qué tanto se asemeja el caso de la ZMT con alguna de las alternativas planteadas. Para ello se describen algunas características que asume el sistema.

Uno de los primeros atributos que se distinguen en el marco de los componentes de gestión es la oportunidad de un alto grado de asociación y coordinación entre los municipios que contienen a la metrópoli; así como de los diferentes órdenes

de gobierno involucrados en los procesos de gestión y la colaboración de sus respectivas dependencias.

Este tipo de participación debe estar reconocida por los diversos componentes de gestión (marco jurídico, marco organizacional e instrumentos de planeación y financiamiento), procurando, sobre todo, que la coordinación metropolitana se promueva por los mecanismos legislativo y organizacional, que son los que marcan el umbral de actuación de la gestión, así como las posibilidades de ejecución de proyectos.

Otro elemento por considerar es que se debe incentivar la participación de diversos actores en los procesos de coordinación metropolitana, esto quiere decir, que no solo los actores gubernamentales participen en estos procesos, sino que exista la posibilidad de contar con agentes del sector social, privado y/o académico que intervengan en la gestión y administración de estos entornos.

Una característica relevante en los sistemas de gestión es que, desde el punto de vista de los diferentes mecanismos, es necesario reconocer la dimensión metropolitana como una materia que requiere un tratamiento especial, lo que se manifiesta a través de la identificación de la preeminencia política, administrativa, jurídica y territorial que estos conglomerados poseen, así como la capacidad técnica para diagnosticar y pronosticar en los proyectos urbanos que se requiera.

Otro atributo a considerar es que se distingan y definan criterios específicos de lo que se desea gestionar, como parte del sistema de coordinación; es decir, mencionar cuáles son las materias y/o atribuciones que tendrá dicho sistema. Algunas de las materias que se consideran son el desarrollo económico, la planeación regional, la seguridad pública, la vivienda, el suelo, los espacios públicos, la infraestructura, la cultura, el turismo, la vialidad, el transporte, los residuos sólidos, y el suministro de servicios, como el agua y el alcantarillado.

De esta forma se reconocen al menos cinco variables de análisis para determinar elementos básicos en la construcción de una gestión metropolitana con un grado de desarrollo de capacidades más comprensivas y complementarias de las necesidades de coordinación en el espacio metropolitano. Estas se jerarquizan a través de los ámbitos de gobierno que participan en la coordinación de la ZMT. En la tabla 1 se describen los atributos de análisis de la gestión metropolitana.

**Tabla 1. Variables de análisis de las características de coordinación metropolitana en la ZMT**

ATRIBUTOS DE EVALUACIÓN	NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
Grado de coordinación metropolitana	GCM	Corresponde al grado de asociación y/o coordinación promovida por las demarcaciones y los ámbitos de gobierno de la ZMT
Grado de coordinación intergubernamental	GCI	Se refiere al grado de asociación entre los ámbitos de gobierno que intervienen en la gestión metropolitana
Participación de actores complementarios	PAC	Identifica la incorporación de actores sociales, privados y académicos en los procesos de gestión metropolitana en la ZMT
Dimensión metropolitana	DM	Se refiere al reconocimiento de la dimensión metropolitana para desarrollar procedimientos de coordinación en la ZMT
Materias de coordinación metropolitana	MCM	Indica materias y/o atribuciones de carácter metropolitano a considerar dentro del sistema de gestión metropolitana en la ZMT

Fuente: elaboración propia.

Para hacer la valoración de semejanza con los atributos presentados respecto a los componentes de gestión de la ZMT se hace una ponderación de tipo nominal y ordinal de intensidades de acuerdo con los siguientes rubros (véase tabla 2).

**Tabla 2. Valoración para ponderación de análisis de atributos para componentes de gestión metropolitana en la ZMT**

INTENSIDAD DEL ATRIBUTO	CODIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Nulo	0	Refiere a que en el componente de gestión no existe ningún elemento que promueva el atributo de análisis
Bajo	1	Representa un grado de asociación con el atributo escaso, es decir, con pocas posibilidades de aplicación
Medio	2	Considera un grado de vinculación con el atributo a un nivel moderado, se aplica, pero con algunas restricciones
Alto	3	Indica que el atributo se está retomando en su totalidad por los componentes de gestión de la ZMT

Fuente: elaboración propia.

De esta forma es posible obtener una evaluación que muestre las debilidades estructurales del sistema de gestión y que muestre una perspectiva apropiada para generar directrices de intervención que mejoren el contexto existente.

#### EVALUACIÓN DE LOS COMPONENTES DE COORDINACIÓN METROPOLITANA A NIVEL MUNICIPAL EN LA ZMT

Desde la perspectiva de evaluación de los componentes de gestión metropolitana del ámbito municipal, se revisan los bandos municipales, los organismos creados para hacer procedimientos de coordinación metropolitana y planes de desarrollo urbano de las 22 demarcaciones que integran la Zona Metropolitana de Toluca.

Para el caso de la promoción de procesos de coordinación metropolitana (GCM), desde el marco jurídico (bandos municipales), se identifica que poco más del 63% de los municipios establece la posibilidad de llevar a cabo esta práctica, con lo que se define un alto grado de coordinación metropolitana. Con relación al marco organizacional, cerca del 27% de las demarcaciones municipales identifican esta

posibilidad, en su mayoría con una ponderación baja para esta variable. Por su parte, con los instrumentos de gestión, el GCM está propuesto por poco más del 81% de los municipios, en su mayoría por una ponderación también baja (véase tabla 3).

Con la búsqueda de una coordinación intergubernamental e interinstitucional entre los ámbitos de gobierno (GCI), desde el marco jurídico se identifica que cerca del 54% de los municipios de la ZMT promueven llevar a cabo acciones desde esta perspectiva, con lo que se identificó un grado de coordinación intergubernamental medio para la mayoría de sus municipios. Desde el planteamiento del marco organizacional, el GCI está considerado en el 9% de las demarcaciones municipales, así que se identifica una ponderación de media a alta de manera equilibrada. Con relación a los instrumentos de gestión, poco más del 68% de los municipios identifican la posibilidad de promover un GCI, en su mayoría con un grado de coordinación intergubernamental alto (véase tabla 3).

**Tabla 3. Síntesis del análisis de componentes de gestión en el ámbito municipal para la ZMT**

MUNICIPIO	MARCO JURÍDICO					MARCO ORGANIZACIONAL					INSTRUMENTOS DE GESTIÓN				
	BANDOS MUNICIPALES					DIRECCIONES / UNIDADES					PLANES DE DESARROLLO				
	GCM	GCI	PAC	DM	MCM	GCM	GCI	PAC	DM	MCM	GCM	GCI	PAC	DM	MCM
Almoloya de Juárez	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	3	3
Calimaya	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	3	0	3	3
Lerma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	3
Metepec	3	2	0	3	0	2	2	0	2	2	2	3	1	3	3
Mexicaltzingo	3	1	0	1	1	0	0	0	0	0	2	0	0	3	3
Otzolotepec	3	2	0	3	3	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0
San Mateo Atenco	3	0	0	1	0	1	0	0	1	2	2	2	0	0	3
Toluca	3	2	1	3	3	0	0	0	0	0	3	3	1	3	3
Zinacantepec	3	1	0	2	3	3	2	0	3	2	3	3	1	3	3

*Continúa ...*

MUNICIPIO	MARCO JURÍDICO					MARCO ORGANIZACIONAL					INSTRUMENTOS DE GESTIÓN				
	BANDOS MUNICIPALES					DIRECCIONES / UNIDADES					PLANES DE DESARROLLO				
	GCM	GCI	PAC	DM	MCM	GCM	GCI	PAC	DM	MCM	GCM	GCI	PAC	DM	MCM
Chapultepec	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	3	3
Ocoyoacac	0	0	1	2	3	1	0	0	1	2	2	2	0	3	3
Rayón	3	0	0	1	3	1	0	0	1	0	1	2	0	3	3
San Antonio la Isla	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	3
Temoaya	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	3
Xonacatlán	3	2	0	2	1	0	0	0	0	0	1	3	1	3	0
Tenango del Valle	0	2	1	3	3	0	0	0	0	0	1	2	1	3	3
Almoloya del Río	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0
Atizapán	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
Capulhuac	3	2	0	1	1	0	0	0	0	0	1	3	1	3	3
Texcalyacac	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
Tiangustenco	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	0	3	0	3	0
Xalatlaco	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	3

Fuente: elaboración propia.

Desde la perspectiva para incluir a actores complementarios en los procesos de gestión metropolitana (PAC), con el marco jurídico, poco más del 13% de los municipios de la ZMT consideran esta opción, con una valoración baja para esta variable. Desde la perspectiva de los instrumentos de gestión, cerca del 36% de las demarcaciones municipales consideran esta opción, con una ponderación baja para este atributo (véase tabla 3).

El reconocimiento de la dimensión metropolitana (DM) para realizar procesos de coordinación metropolitana es identificado desde el marco jurídico por poco más del 81% de los municipios que integran la metrópoli, en su mayoría con una ponderación baja para esta variable. Con relación al marco organizacional, cerca del 27% de los municipios consideran esta opción como parte de sus procesos de

coordinación metropolitana, valorando esta opción en su mayoría como baja. Y con los instrumentos de gestión, poco más del 81% de los municipios considera este atributo con un grado alto de reconocimiento de la dimensión metropolitana (véase tabla 3).

Con relación a las materias y/o atribuciones en las que se tiene la opción de realizar procesos de coordinación metropolitana (MCM), desde el marco jurídico poco más del 45% de los municipios identifican esta opción, en su mayoría con una ponderación alta. Con el marco organizacional, cerca del 23% de los municipios identifican materias que son susceptibles a considerarse en los procesos de coordinación metropolitana, con una valoración media para esta variable. Respecto a los instrumentos de gestión, cerca del 73% de los municipios de la ZMT proponen establecer atribuciones de carácter metropolitano, todos con una ponderación alta para esta variable (véase tabla 3).

Como se observa, con los componentes de gestión desde el ámbito municipal, los atributos de gestión que requieren un mayor tratamiento por parte de los municipios de la ZMT son los que promueven una mayor coordinación intergubernamental e interinstitucional entre los ámbitos de gobierno; así como los que hacen hincapié en la forma en la que se integra a actores complementarios a los procesos de coordinación metropolitana; acompañado de un reforzamiento del reconocimiento de materias y/o atribuciones que sean gestionadas de manera particular desde una perspectiva metropolitana.

De esta manera, resulta relevante indagar acerca de las posibilidades de asociación y/o complementariedad que presentan los componentes de gestión metropolitana, con ello se identifican posibles directrices que cada uno de los ámbitos de gobierno debe reforzar para proponer una coordinación metropolitana con un sentido más integral.

## CONCLUSIONES

Una de las principales reflexiones que se establecen a partir de esta revisión es que en México la situación para atender e impulsar el desarrollo metropolitano ha adquirido un nivel relevante en la agenda de las políticas públicas del país. Buscar estrategias que impulsen una renovación de las actividades de gestión de estos espacios es una de las tareas principales de los gobiernos, los grupos privados y la sociedad.

Desde el punto de vista del marco normativo, las metrópolis se reconocen como una problemática, mas no como una unidad político administrativa que necesita una regulación especial; aunque se tienen leyes con una perspectiva más integral de lo que puede considerarse un sistema de gobernanza metropolitana, se reconoce la voluntad de las entidades gubernamentales para asociarse o coordinarse, sin que exista algún incentivo u obligatoriedad que les permita llevar a cabo dicha asociación.

La incorporación de nuevos marcos regulatorios en los que se especifique el alcance que debe tener la coordinación metropolitana y la forma en la que se haga operativa con criterios obligatorios, puede ser el punto de partida para mejorar el ámbito de gestión para estos espacios.

Por su parte, las organizaciones creadas para atender las necesidades de este tipo de ciudades solo asumen un perfil para promover, proponer y coordinar algunos asuntos, y quedan solo como organismos consultivos, y no ejecutivos como sería deseable, esto limita la posibilidad de crear proyectos integrales y específicos para estos lugares.

Con relación a los instrumentos de gestión se aprecia que estos no están vinculados a las necesidades de las metrópolis, ya que como se observa en el caso de la ZMT, los problemas urbanos de escala metropolitana no son abordados por los planes de desarrollo, además de que los recursos del Fondo Metropolitano se utilizaban para cubrir las necesidades de otros ámbitos de gobierno (estatal y municipal). Se puede decir que en México no se cuenta todavía con los elementos suficientes que promuevan la coordinación y la asociación entre los distintos componentes de las metrópolis, porque el tema metropolitano no es reconocido en sus dimensiones jurídicas, administrativas, geográficas y políticas, y tampoco se proponen herramientas e instrumentos específicos para su tratamiento.

La realidad urbana-metropolitana en México requiere nuevos enfoques que le ayuden a gestionar de mejor forma los recursos con los que cuenta; la acción pública que se necesita tiene que ser el reflejo y el esfuerzo conjunto de todos los que hacen y son parte de estos espacios, esto demanda un cierto nivel de conocimiento y entendimiento del fenómeno, pero también una responsabilidad para que las estrategias que se implementen funcionen.

Cada vez es más urgente asumir estrategias de gestión en el ámbito metropolitano en México; por una parte, existe una tendencia creciente hacia la aglomeración de personas en estos lugares, y por otra, una gran concentración de problemas urbanos que no permiten potenciar los beneficios —sobre todo económicos y de bienestar social— que ofrecen estas ciudades.

La reflexión hecha en este trabajo deja ver que en México se tiene una concepción limitada del fenómeno metropolitano, ya que todavía son insuficientes las formas de organización y los instrumentos que se han desarrollado para abordar desde diferentes ámbitos el tema metropolitano. Es importante asumir nuevas formas para lograr una gobernanza efectiva de las ciudades metropolitanas, los componentes presentados en este trabajo pueden ser un referente para concebir una propuesta dirigida de forma integral y diferente para gestionar las metrópolis y promover un cambio estructural significativo en las formas de gobierno tradicionales.

## REFERENCIAS

- Arias, R. (2017). Estudio introductorio. Gobernanza metropolitana y federalismo en México. En Arias, R. (Coord.). *Gobernanza metropolitana y federalismo en México*. El Colegio de Jalisco, pp. 9-32.
- Banco Mundial [BM]. (2020). Indicadores de desarrollo urbano. Desarrollo urbano. Grupo Banco Mundial. <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview#1>
- Cadena, C. (2004). Administración pública y democracia: el proceso histórico y los obstáculos al cambio. *Ciencia Ergo Sum. Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva* 11 (1), pp. 95-104. <http://www.redalyc.org/pdf/104/10411112.pdf>
- Carrera, A. (2005). La intermunicipalización en México: una estrategia para el desarrollo de relaciones intergubernamentales más equilibradas. *Centro Latinoamericano de Administración para el Desarrollo*. <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/la%20intermunicipalizaci%C3%B3n%20en%20m%C3%A9xico.pdf>
- Carrera, A. (2017). El gobierno de la Ciudad de México. Democratización incompleta e inequidad. En Grin, E., Hernández, J. y Abrucio, F. (Ed.). *El gobierno de las grandes ciudades gobernanza y descentralización en las metrópolis de América Latina*. Centro Latinoamericano de Administración para el Desarrollo [CLAD]. [En línea.] Universidad Autónoma de Chile. <http://siare.clad.org/fulltext/0086200.pdf>
- Consejo Nacional de Población [Conapo]. (2015). Índice de marginación. [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos\\_Abiertos\\_del\\_Indice\\_de\\_Marginacion](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos_Abiertos_del_Indice_de_Marginacion)
- Conapo. (2018). Delimitación de zonas metropolitanas de México 2015. <https://www.gob.mx/conapo/documentos/delimitacion-de-las-zonas-metropolitanas-de-mexico-2015>

- Garrocho, C. (2013). *Dinámica de las ciudades de México en el siglo XXI. Cinco vectores clave para el desarrollo sostenible*. El Colegio Mexiquense / Conapo.
- Gaspar, N. (2009). *Perfil socioeconómico-territorial de los nodos comerciales ubicados en los municipios de Toluca, Metepec y Lerma 1990-2008*. [Tesis de maestría.] UAEMEX.
- Girardo, C. (2020). El municipio y las políticas públicas para impulsar el desarrollo local / territorial. [Introducción.] En Girardo, C. (Coord.). *Políticas públicas para el desarrollo municipal*. El Colegio Mexiquense.
- González, H. (2006). *Modelo de medición de efectos en el suelo generados por una estación de tren de pasajeros en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca*. [Tesis de doctorado.] UAEMEX
- Guzmán, P. (2019). *Gestión y gobernanza en el desarrollo metropolitano de Toluca 2011-2018*. [Tesis de doctorado.] UAEMEX.
- Iracheta, A. (2009). *Políticas públicas para gobernar las metrópolis mexicanas*. El Colegio Mexiquense / Miguel Ángel Porrúa.
- Iracheta, A. (2020). Principios de gobernanza local en un mundo globalizado. En Girardo, C. (Coord.). *Políticas públicas para el desarrollo municipal*. El Colegio Mexiquense.
- Iracheta, A. e Iracheta, J. (2014). *Evaluación de los fondos metropolitano y regional del gobierno federal mexicano*. Centro de Investigación y Docencia Económicas [CIDE] / El Colegio Mexiquense / Centro CLEAR para América Latina / Secretaría de Hacienda y Crédito Público / Banco Interamericano de Desarrollo / Centro EURE.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi] (2020). Censo de población y vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/>
- Moreno, S. (2006). *La gestión, coordinación y gobernabilidad de las metrópolis*. Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública. [www3.diputados.gob.mx/camara/content/.../Documentos%20de%20Trabajo%209.pdf](http://www3.diputados.gob.mx/camara/content/.../Documentos%20de%20Trabajo%209.pdf)
- Pérez, D. (2013). *Las zonas metropolitanas de México estructuración urbana, gobierno y gobernanza*. UAM.
- Porrás, F. (2016). *Gobernanza: propuestas, límites y perspectivas*. Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora.
- Ramírez, E. (2012). Instituciones y gobernanza metropolitana: una primera aproximación al caso de México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 27(2), pp. 491-520. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S018672102012000200491&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018672102012000200491&lng=es&tlng=es)
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano [Sedatu]. (2020). Manual y caja de herramientas gobernanza metropolitana. <https://www.gob.mx/sedatu/documentos/manual-y-caja-de-herramientas-de-gobernanza>

- Secretaría de Desarrollo Social [Sedesol] y Consejo Nacional de Población [Conapo]. (2012). Catálogo: Sistema Urbano Nacional 2012. [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Partes\\_I\\_a\\_V\\_\\_Catalogo\\_Sistema\\_Urbano\\_Nacional\\_2012](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Partes_I_a_V__Catalogo_Sistema_Urbano_Nacional_2012)
- Vélez, A. (2015). *Gestión pública y gobernanza en el desarrollo metropolitano. El caso del Estado de México 2002-2013*. Instituto de Administración Pública del Estado de México [IAPEM].
- Venancio, A. (2016). *Planificación y gestión del desarrollo de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Un análisis desde la gobernanza, 2005-2012*. Instituto de Administración Pública del Estado de México.
- Ziccardi, A. (2017). Vivienda, gobiernos locales y gestión metropolitana. En Ziccardi, A. y Cravacuore, D. *Los gobiernos locales y las políticas de vivienda en México y América Latina*. UNAM, pp. 13-30.



# EVALUACIÓN MULTICRITERIO: UN MÉTODO PARA PROPONER UNA RED DE MONITOREO DE CALIDAD. CASO DE ESTUDIO

Manuel Alejandro Colín Carreño  
Juan Manuel Esquivel Martínez  
Edith Rosalba Salcedo Sánchez

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el agua de manantial ha sido un valioso recurso y siempre ha abastecido desde comunidades rurales hasta grandes centros urbanos. Este recurso es utilizado para distintos fines, como el uso y el consumo humano, las actividades domésticas, agrícolas e industriales, incluso, se le ha dado valor cultural y turístico (Cantonati *et al.*, 2021). Por tanto, el líquido vital siempre debe tener una excelente calidad, sin embargo, los manantiales son constantemente afectados por las distintas actividades antropogénicas, motivo por el que es importante priorizar la selección de manantiales para optimizar el monitoreo de calidad del agua; esto garantizará tanto la cantidad y la calidad y asegurará los recursos hídricos para las generaciones futuras (Luo *et al.*, 2020; Buono, 2019).

En México, en especial en la porción central del país, se han reportado casos en los que ya existe un deterioro en la calidad de las aguas subterráneas (manantiales, pozos y norias), que han sido afectados por la incorporación de especies químicas y microbiológicas (Rodríguez *et al.*, 2022; Aguilar *et al.*, 2020) y pueden tener un efecto negativo en la salud de la población debido a su consumo (Salcedo *et al.*, 2020; Martínez *et al.*, 2021). Desde este marco, la priorización de manantiales es un elemento necesario para hacer un monitoreo continuo de la calidad del agua de manantial y debería ser un punto clave en un programa de ordenamiento territorial para preservar el recurso hídrico, tanto en cantidad como en calidad. Para cumplir con este objetivo, la Evaluación Multicriterio (EMC) en conjunto con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) resultan herramientas potentes y eficaces. En diversas

investigaciones se ha analizado el comportamiento de los manantiales; sin embargo, son pocos los estudios en los que se implementa la EMC en entorno SIG (López *et al.*, 2021; López *et al.*, 2019; Valle, 2021).

De acuerdo con Drobne y Lisec (2009), la EMC es un conjunto de técnicas utilizadas en modelos de evaluación, que permiten hacer la selección de alternativas que mejor satisfagan las preferencias con base en un objetivo considerado. Por tanto, en la EMC se hace un análisis de distintos criterios y es útil en la toma de decisiones, ya que permite emitir juicios para solucionar problemas de manera simplificada. Para el caso de la gestión sustentable de manantiales se podría considerar el análisis de criterios como el uso del suelo, la geología, el caudal, la cercanía con focos potenciales de contaminación, el estado de conservación de la infraestructura y la fuente única (Esquivel *et al.*, 2015; López, 2018).

La necesidad de tener un panorama más amplio en la gestión sustentable de manantiales requiere contar con un número de manantiales como propuesta para monitorear la calidad, el objetivo de esta investigación fue priorizar manantiales para proponer el diseño de una red de monitoreo de calidad del agua con vista a facilitar su uso sustentable, mediante el empleo de la EMC en SIG, considerando como caso de estudio el acuífero Buenavista de Cuéllar, en Guerrero, México.

## MATERIALES Y MÉTODO

### *Área de estudio*

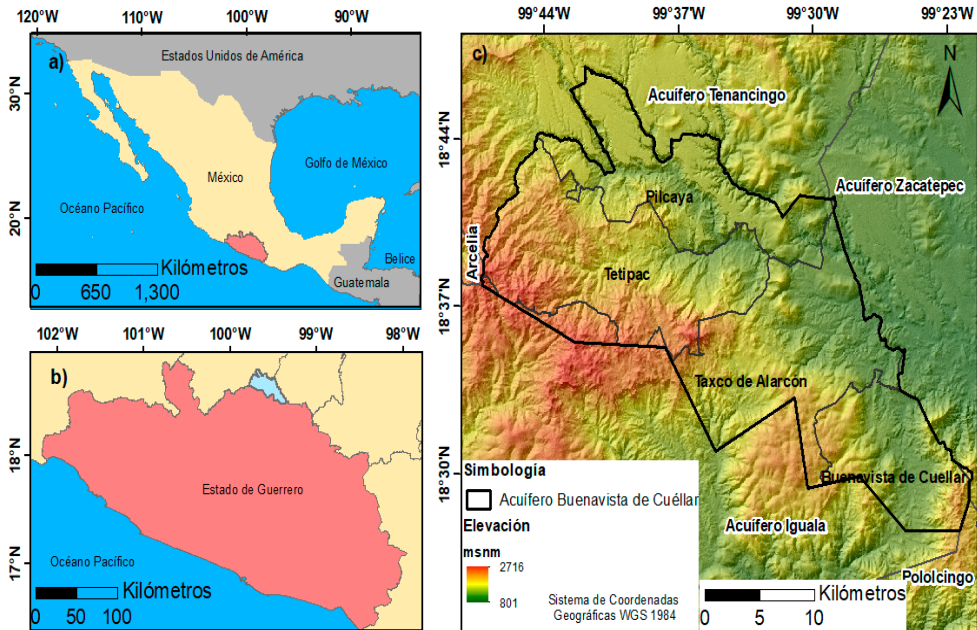
El Acuífero Buenavista de Cuéllar (ABC), definido por la Comisión Nacional del Agua (Conagua) con clave 1204, se localiza en la porción norte del estado de Guerrero, cuenta con un área aproximada de 672 km<sup>2</sup>. Este acuífero limita al norte con el acuífero Tenancingo (Estado de México), al oeste con el acuífero Arcelia, al este con el acuífero Zacatepec (Morelos) y al sur con los acuíferos Iguala y Pololcingo (véase figura 1). Dentro de su límite se localizan cuatro municipios de Guerrero, de los que comprende totalmente al municipio de Pilcaya y parcialmente Tetipac, Taxco de Alarcón y Buenavista de Cuéllar (Conagua, 2020).

El ABC se localiza en la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur, subprovincia cuenca Balsas-Mezcala, en el límite con la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico.

La zona presenta diversos rasgos geomorfológicos, entre los que destacan sierras, barrancas y valles. Las sierras están representadas por elevaciones que rondan entre los 2 000 y 2 400 msnm, como es el caso del cerro El Aguacate y cerro El Huixteco, respectivamente. Dichas sierras se asocian con zonas de cabalgadura, pliegues anticlinales y el emplazamiento de rocas plutónicas y volcánicas (Conagua, 2020).

El ABC es un acuífero poco común, constituido por cerca de un 98% de manantiales. El agua es utilizada primordialmente como agua potable y para actividades domésticas (DOF, 2016).

Figura 1. Mapa de ubicación del Acuífero Buenavista de Cuéllar.



Fuente: elaboración propia a partir de datos del Inegi (2019).

### Metodología

La investigación se centra en la evaluación multicriterio en entorno SIG. La metodología incluyó cuatro pasos (véase figura 2). En el primero se hizo una

búsqueda, recopilación y análisis de la información bibliográfica y cartográfica sobre el tema de estudio. Las principales fuentes para la obtención de información fueron: revistas indexadas, libros, organismos públicos, tesis e informes y sitios web para la recopilación de información cartográfica.

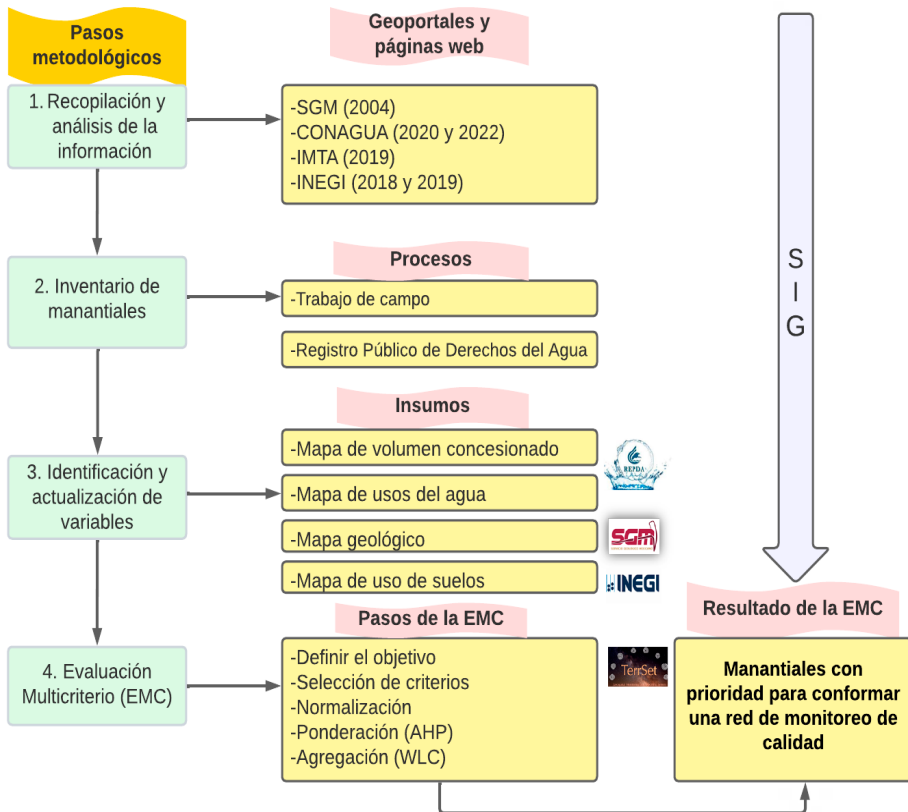
La información cartográfica se obtuvo en distintos formatos: tabular, vectorial y ráster. Los datos tabulares fueron convertidos a vectoriales y/o ráster según el uso, y se transformó del sistema de coordenadas geográficas ITRF 1992 y WGS 1984 a coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM, por sus siglas en inglés), UTM WGS 1984 Zona 14 Norte. Además, se hizo cartografía digital para constituir la geobase de datos.

En el segundo paso metodológico se hizo el inventario de manantiales del ABC, se consultó y analizó la base de datos de concesiones del REPDA en 2022 (Conagua, 2022) que contiene información de los manantiales con títulos de concesión de cuatro municipios del ABC, además, se hizo trabajo de campo para verificar la ubicación exacta de los manantiales. La información que contiene el inventario es la siguiente: identificador (ID), nombre del manantial, coordenadas UTM, municipio, uso, volumen concesionado ( $m^3/año$ ), título de concesión/asignación, titular y fecha de registro.

En el tercer paso se identificaron y actualizaron variables del área de estudio (insumos para la EMC). Estas fueron: mapa de usos del agua creado a partir de una consulta a la base de datos del REPDA en 2022 (Conagua, 2022), mapa geológico (SGM, 2004), mapa de uso de suelos/cobertura vegetal (Inegi, 2018) y mapa de volumen concesionado (Conagua, 2022).

El monitoreo de calidad del agua subterránea se convierte en un elemento importante para reducir costos en la obtención de datos de calidad y ayuda a hacer estudios relacionados con la contaminación del agua subterránea. Por tanto, las redes de monitoreo permiten mejorar el conocimiento del modelo conceptual del acuífero, detectar posibles impactos al poner de manifiesto eventos de contaminación, en especial en núcleos urbanos, llevar un seguimiento de impactos adversos y prever medidas correctoras, y generar información representativa y confiable de la calidad del agua (Gallardo y Becerra, 2017).

Figura 2. Esquema de pasos metodológicos



Fuente: elaboración propia.

El diseño de una red de monitoreo de calidad consiste en seleccionar de manera óptima el número mínimo de fuentes a nivel acuífero. Finalmente, en el cuarto paso se diseñó la red de monitoreo de calidad a partir de aplicar la técnica AHP multicriterio. A continuación, se describen los pasos:

### 1. Definición del objetivo

Priorizar manantiales necesarios para ser analizados y proponer una red de calidad en el Acuífero Buenavista de Cuéllar, estado de Guerrero, México.

## 2. Selección de criterios

Los criterios se dividen en factores y restricciones. En esta investigación se seleccionaron variables importantes para identificar fuentes prioritarias y ser analizadas mediante la EMC. El apoyo de siete expertos y la información cartográfica disponible fue fundamental para hacer la selección de cuatro factores (uso del agua de manantial, uso del suelo, geología donde emana el manantial y volumen concesionado). A continuación, se describen:

- Uso del agua

El agua tiene que cumplir con ciertos parámetros y características para ser utilizada en determinados usos. En este sentido, en el área de estudio se tienen los siguientes usos: agua para beber, doméstico, agrícola, pecuario, industrial, servicios y turístico (Conagua, 2022). En consecuencia, los manantiales más importantes son los destinados al uso doméstico y para el consumo humano, debido a que son indispensables para la sobrevivencia y para preservar la salud de la población. Este factor se dividió con valores numéricos de 1 (menos importante) a 5 (más importante).

- Uso del suelo / cobertura vegetal

Los usos de suelos/cobertura vegetal fueron divididos en las clases de suelo agrícola, área urbana, pastizal, bosque y vegetación arbustiva. Este factor se dividió de 1 (menos importante) a 5 (más importante), la importancia está relacionada con el deterioro de la calidad del agua y el subsecuente impacto en la salud del ser humano (Srivastav, 2020), ya que los suelos agrícolas podrían estar incorporando contaminantes debido al uso de fertilizantes y pesticidas. Por otro lado, en las áreas urbanas se tiene la descarga de aguas residuales considerado un foco potencial de contaminación (Foster *et al.*, 2007).

- Geología

En el lugar donde emana un manantial disminuye la protección que brinda el medio geológico y se vuelve más vulnerable a la contaminación. El análisis geológico consideró

las condiciones texturales y estructurales de las rocas (porosidad, permeabilidad y grado de fracturamiento) con el fin de conocer la capacidad que tienen para infiltrar la escorrentía superficial y contaminantes. En este estudio, se reconocieron litologías muy diversas (aluvión, basalto, gabro, caliza y dolomía, conglomerados, depósitos de talúd, diorita, lahar, lutita y arenisca, riolita y depósitos metavolcánicos sedimentarios). Por lo tanto, las rocas de tipo caliza y dolomía son más vulnerables (Martínez *et al.*, 2019) y se le asignó un valor de 5, mientras que, las rocas menos vulnerables tienen un valor de 1 y corresponden a gabros y basaltos.

- Volumen concesionado

A los manantiales con mayor volumen concesionado se les asignó un valor numérico de 5, ya que abastecen a una mayor cantidad de población y son considerados de gran importancia en el suministro del líquido vital. Por otro lado, a menor volumen de concesión el valor establecido fue de 1.

Las fuentes de información consultadas para los factores antes mencionados fueron Conagua, Inegi y el Servicio Geológico Mexicano.

### 3. Normalización

La normalización de factores se hizo utilizando una escala común (rango de 0 a 255), los valores más altos corresponden a las fuentes más adecuadas para ser consideradas en el diseño de la red de monitoreo de calidad. En esta investigación se utilizó la función monótonicamente creciente en todos los factores analizados. Este proceso se llevó a cabo de acuerdo con la siguiente ecuación y utilizando el módulo *fuzzy* (Eastman, 2016):

$$Xi = \frac{(Ri - Rmín)}{(Rmáx - Rmín)} \cdot SR \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$Xi$  = nuevo valor, estandarizado por píxel

$Rmín$  = es el valor mínimo del factor por píxel

$Rmáx$  = es el valor máximo del factor por píxel

$Ri$  = valor del factor por píxel

$SR$  = es el umbral máximo del rango a estandarizar (255)

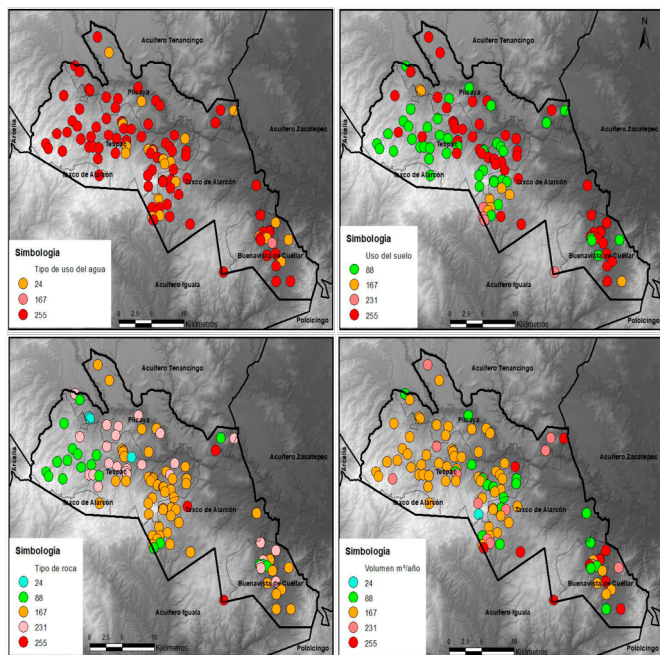
En la figura 3 se expone el resultado de la normalización.

#### 4. Ponderación (aplicación de AHP)

La ponderación requirió del apoyo de siete expertos relacionados con el monitoreo de calidad del agua, entre los que destacan geógrafos, geólogos, químicos e hidrogeólogos. Los expertos hicieron una comparación entre los factores con el fin de establecer una jerarquía de relevancia.

La técnica utilizada fue AHP, una de las más aplicadas en estudios relacionados con la gestión de los recursos hídricos (Hajkowicz y Collins, 2007), y en el diseño y la optimización de redes de monitoreo (Esquivel *et al.*, 2022; Saranya y Saravanan, 2022; Mega y Khechana, 2021; Taheri *et al.*, 2020; Singh y Katpatal, 2017). Este proceso se hizo mediante el módulo Weight, que realizó una comparación por pares y permitió obtener el peso de cada factor (Saaty, 2006). La tabla 1 presenta el peso de cada factor y se percibe que el uso del agua tiene una fuerte influencia sobre todos los factores analizados. Al mismo tiempo se calculó la tasa de consistencia (CR) y fue de 0.08, lo que indica que la ponderación es aceptable, como lo establece Saaty (1990).

Figura 3. Normalización de factores utilizados en la EMC



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 1. Valores del coeficiente de ponderación de cada factor y su peso**

FACTOR	GEOLOGÍA	USO DEL AGUA	USO DEL SUELO	VOLUMEN	PESOS
Geología	1				0.1136
Uso del agua	7	1			0.5943
Uso del suelo	3	1/3	1		0.2532
Volumen	1/5	1/9	1/7	1	0.0390

Fuente: elaboración propia.

La tasa de consistencia se calculó de la siguiente manera (Saaty, 1990; Yavuz Kumlu y Tudeş, 2019):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$CR$  = es la tasa de consistencia

$CI$  = es el índice de consistencia

$RI$  = es el índice aleatorio (en esta investigación fue de 0.90)

El índice de consistencia se calcula:

$$CI = \frac{\lambda \text{ máx} - n}{n - 1} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$\lambda \text{ máx} = \sum \lambda \text{ i.i total}$

$\lambda$  = pesos por factor

$n$  = al número de factores

## 5. Agregación

Los factores combinados con sus pesos se agregaron mediante el método de Combinación Lineal Ponderada (wLC, por sus siglas en inglés), que asume un riesgo

medio y se encuentra implícito en el módulo MCE del software TerrSet. Es importante destacar que para este estudio no se consideraron restricciones (capas booleanas).

La agregación consistió en multiplicar a cada factor por su peso asignado. El método es una aplicación del álgebra de mapas que se hace con base en la siguiente ecuación (Marinoni, 2004):

$$S = \sum_{i=1}^n W_i X_i \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$S$  = idoneidad

$n$  = número de factores

$W_i$  = peso del factor  $i$

$X_i$  = valor del factor  $i$

El resultado de aplicar EMC fue un mapa de idoneidad (valores de 0 a 255). Este fue clasificado en tres categorías de prioridad (baja, media y alta). Posteriormente, se analizaron tres elementos: la distribución espacial de los manantiales con prioridad alta, el tema de seguridad social y las vías de accesibilidad. Este análisis permitió seleccionar 20 manantiales con una distribución homogénea para conformar la propuesta de diseño de red de monitoreo de calidad en el Acuífero Buenavista de Cuéllar.

### *Resultados y discusión*

El mapa de priorización de manantiales (véase figura 7) está conformado por un 6.6% de categoría baja y se localizan mayormente en el municipio de Taxco de Alarcón. Mientras que los manantiales con categoría media ocupan el 14.1% y se encuentran distribuidos en los municipios de Tetipac, Pilcaya, Taxco de Alarcón y Buenavista de Cuéllar. Por último, los manantiales con categoría alta representan el 79.2% y se distribuyen homogéneamente en el acuífero y fueron considerados en la propuesta de diseño de red de monitoreo de calidad del agua subterránea.

Finalmente, la propuesta de red de monitoreo de calidad está conformada por 20 manantiales distribuidos homogéneamente a nivel acuífero, tienen accesibilidad y seguridad social para su monitoreo. Esta propuesta permitirá aprovechar los recursos económicos para medir parámetros fisicoquímicos, elementos mayores, elementos

traza y análisis microbiológicos con el fin de evaluar la calidad y monitorear tanto en espacio y tiempo. El monitoreo de calidad en el corto plazo permitirá identificar oportunamente las fuentes de agua con mala calidad, para lograr prevenir problemas de salud en los habitantes y mejorar la gestión de las aguas subterráneas. Por ende, la presente investigación puede utilizarse como un insumo en futuras investigaciones relacionadas con el ordenamiento territorial, la planeación urbana o en estudios hidrogeológicos por parte de Conagua, comisión encargada de la administración del agua en México (véase figura 8).

Figura 7. Mapa de priorización de manantiales del Acuífero Buenavista de Cuéllar

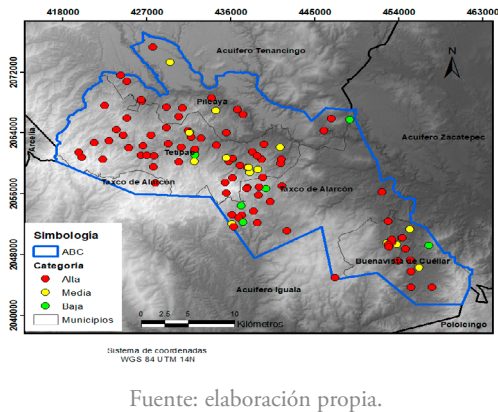
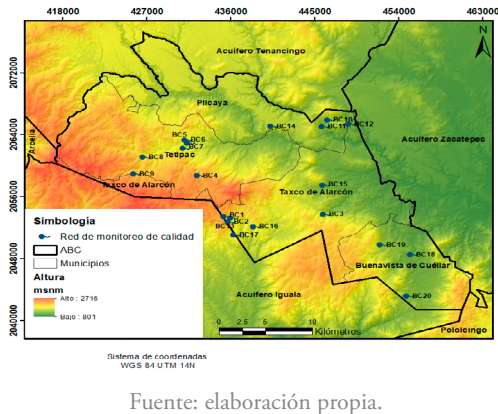


Figura 8. Mapa de propuesta de red de monitoreo de calidad en el Acuífero Buenavista de Cuéllar



## CONCLUSIONES

La EMC ha permitido analizar los factores disponibles (uso del agua, uso de suelo, geología y volumen concesionado) en el área de estudio, además, se tomó como base la consulta de un grupo de expertos y se asignaron diferentes categorías de importancia a cada factor. La aplicación de la técnica AHP y del método WLC permitieron obtener un mapa de priorización de manantiales, categorizado en tres clases: bajo, medio y alto (se tuvieron un total de 84 manantiales). Este es un insumo elemental para proponer el diseño de una red de monitoreo de calidad del agua subterránea en el Acuífero Buenavista de Cuéllar.

En la presente investigación, el resultado más sobresaliente fue la propuesta de diseño de una red de monitoreo de calidad para el ABC. La red está constituida por 20 manantiales con categoría alta, distribuidos homogéneamente en el acuífero, con acceso y buena seguridad social. Esta propuesta es factible para contrarrestar los diferentes problemas relacionados con la calidad del agua subterránea en el acuífero; además, permitirá optimizar recursos económicos en la toma de muestras de calidad del agua.

El AHP aún tiene limitaciones en cuanto a su aplicación, ya que se basa en procedimientos prolongados que requieren de un largo periodo de tiempo para establecer los criterios y considerar sus pesos, además, puede llegar al punto en que los decisores lo consideren una tarea tediosa; sin embargo, aporta mayores beneficios, como analizar varios criterios para lograr un mayor grado de objetividad en el resultado y una mejor toma de decisiones.

Finalmente, los resultados de la investigación pueden ser de utilidad para los tomadores de decisiones/o instituciones encargadas de gestionar los recursos hídricos, como lo es en México la Conagua o las autoridades municipales; asimismo, la evaluación multicriterio sería más completa si se tomaran en cuenta factores sugeridos por la población o por instituciones como Conagua.

## AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestra gratitud al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) por el estímulo económico otorgado para el estudio de

posgrado del alumno Manuel Alejandro Colín Carreño. Finalmente, los autores agradecen a los revisores y editores desconocidos por sus comentarios y sugerencias para la mejora del artículo.

## REFERENCIAS

- Aguilar-Rangel, E. J., Prado, B. L., Vásquez-Murrieta, M. S., Los Santos, P. E., Siebe, C., Falcón, L. I., Santillán, J. y Alcántara-Hernández, R. J. (2020). Temporal analysis of the microbial communities in a nitrate-contaminated aquifer and the co-occurrence of anammox, n-damo and nitrous-oxide reducing bacteria. *Journal of Contaminant Hydrology*, 234(103657), 103657. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2020.103657>
- Buono, J. (2019). Spring protection and management: Context, history and examples of spring management in India. En *Groundwater Development and Management*, pp. 227-241. Springer International Publishing.
- Cantonati, M., Fensham, R. J., Stevens, L. E., Gerecke, R., Glazier, D. S., Goldscheider, N., Knight, R. L., Richardson, J. S., Springer, A. E. y Tockner, K. (2021). Urgent plea for global protection of springs. *Conservation Biology: The Journal of the Society for Conservation Biology*, 35(1), pp. 378-382. DOI: <https://doi.org/10.1111/cobi.13576>
- Comisión Nacional del Agua [Conagua]. (2020). Subdirección general técnica gerencia de aguas subterráneas. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Buenavista de Cuéllar (1204), estado de Guerrero. [https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos\\_Acuiferos\\_18/guerrero/DR\\_1204.pdf](https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/guerrero/DR_1204.pdf)
- Conagua. (2022). Consulta a la base de datos del REPDA. <https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx>
- Diario Oficial de la Federación [DOF]*. (2016). Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de las aguas nacionales subterráneas del acuífero Buenavista de Cuéllar, clave 1204, en el Estado de Guerrero. Región Hidrológico-Administrativa Balsas. *Diario Oficial de la Federación*. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5426918&fecha=24/02/2016#gsc.tab=0imta](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5426918&fecha=24/02/2016#gsc.tab=0imta)
- Drobne, S. y Lisec, A. (2009). Multi-attribute decision analysis in GIS: Weighted linear combination and ordered weighted averaging. *Informatica*, 33(4), pp. 459- 474.
- Eastman, J. R. (2016). IDRISI TerrSet. Geospatial Monitoring and Modeling System. Clark Labs. Clark University.

- Esquivel, J. M., Expósito, J. L., Morales, G. P., Esteller, M. V. y López, S. (2015). Diseño de una red de monitoreo del nivel piezométrico mediante el análisis multicriterio. *Revista Latinoamericana: el Ambiente y las Ciencias*, 6(12), pp. 106-110. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/58688>
- Esquivel-Martínez, J. M., Expósito-Castillo, J. L., Esteller-Alberich, M. V., Gómez-Albores, M. A., Medina-Rivas, C. M. y Fonseca-Ortiz, C. R. (2022). Prioritization of areas for groundwater monitoring using analytic hierarchy process method in Geographic Information Systems: a case of Mexico. *International Journal of Environmental Science and Technology: IJEST*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04383-6>
- Foster, S., Hirata, R., Gómez, D. M., Paris, M. (2007). *Protección de la calidad del agua subterránea. Guía para las empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales*. Ediciones Mundi-Prensa. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/229001468205159997/pdf/25071PUB01Spanish10BOX0334116B01PUBLIC1.pdf>
- Gallardo, P. y Becerra, L. (2017). *Importancia de las redes de monitoreo óptimas en la gestión de acuíferos*. Congreso Nacional de Riego y Drenaje. <https://www.riego.mx/congresos/comeii2017/assets/documentos/ponencias/presentacion/COMEII-17016.pdf>
- Hajkowicz, S. y Collins, K. (2007). A Review of Multiple Criteria Analysis for Water Resource Planning and Management. *Water Resour Manage* 21, pp. 1553-1566. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9112-5>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [IMTA]. (2019). Aguas Subterráneas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. <https://www.gob.mx/imta/articulos/aguas-subterraneas>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi]. (2019). Conjunto de datos vectoriales de información topográfica. Inegi. <https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/#Descargas>
- Inegi. (2018). Usos del suelo y vegetación. Inegi. <https://www.inegi.org.mx/temas/ususuelo/>
- López, S. (2018). Estrategias para la protección de manantiales: propuesta metodológica de acuerdo al entorno físico-social y proyección de escenarios. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/99552>
- López, S., Expósito, J. L., Esteller, M. V., Gómez, M. A., Franco, R. y Morales, G. P. (2019). Prioritization to protect springs for public urban water supplies, based on multi-criteria evaluation and GIS (State of Mexico, Mexico). *Applied Geography* 107, pp. 26-37. DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.APGEOG.2019.04.005](https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.04.005)
- López, S., Expósito, J. L., Esteller, M. V., Gómez, M. A., Paredes, J. y Esquivel, J. M. (2021). Delineation of protection zones for springs in fractured volcanic media considering land

- use and climate change scenarios in central Mexico region. *Environmental Earth Sciences*, 80(9). DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09662-y>
- Luo, Q., Yang, Y., Qian, J., Wang, X., Chang, X., Ma, L., Li, F. y Wu, J. (2020). Spring protection and sustainable management of groundwater resources in a spring field. *Journal of Hydrology*, 582(124498), 124498. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124498>
- Marinoni, O. (2004). Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ARCGIS. *Computers and Geosciences*, 30(6), 637-646. DOI: [doi:10.1016/j.cageo.2004.03.010](https://doi.org/10.1016/j.cageo.2004.03.010)
- Martínez-Florentino, T. A. K., Esteller-Alberich, M. V., Expósito, J. L., Domínguez-Mariani, E. y Morales-Arredondo, J. I. (2021). Hydrogeochemistry and geothermometry of thermal springs in the eastern Trans-Mexican Volcanic Belt. *Geothermics*, 96(102176), 102176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2021.102176>
- Martínez-Salvador, C., Moreno-Gómez, M. y Liedl, R. (2019). Estimating pollutant residence time and NO<sub>3</sub> concentrations in the Yucatan Karst aquifer; Considerations for an integrated Karst aquifer vulnerability methodology. *Water*, 11(7), 1431. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11071431>
- Mega, N. y Khechana, S. (2021). Groundwater quality assessment by analytic hierarchy process (geographic information systems-based model) in Souf region (south-east of Algeria). *International Journal of Environmental Science and Technology: IJEST*, 18(11), pp. 3459-3468. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-020-03080-6>
- Rodríguez-Cantú, L. N., Martínez-Cinco, M. A., Balderas-Cortés, J. J., Mondaca-Fernández, I., Navarro-Farfán, M. del M. y Meza-Montenegro, M. M. (2022). Arsenic-contaminated drinking water and associated health risks in children from communities located in a geothermal site of Michoacán, México: Monte Carlo probabilistic method. *Human and Ecological Risk Assessment: HERA*, 28(3-4), pp. 408-432. DOI: <https://doi.org/10.1080/10807039.2022.2054771>
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), pp. 9-26. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-i](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-i)
- Saaty, T. L. (2006). Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes. *European Journal of Operational Research*, 168(2), pp. 557-570.
- Salcedo-Sánchez E. R., Ocampo-Astudillo A., Garrido-Hoyos S. E., Martínez-Morales M. (2020). Effects on Groundwater Quality of the Urban Area of Puebla Aquifer. En Otaño-Sánchez, E., Navarro-Frómata, A., Singh V. (Eds.). *Water Availability and Management in Mexico*. Water Science and Technology Library. Vol. 88. Springer. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-24962-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-24962-5_9)

- Saranya, T. y Saravanan, S. (2022). Assessment of groundwater vulnerability using analytical hierarchy process and evidential belief function with DRASTIC parameters, Cuddalore, India. *International Journal of Environmental Science and Technology: IJEST*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-022-03944-z>
- Servicio Geológico Mexicano [SGM]. (2004). Edición de cartas geológicas y geoquímicas escala 1:50,000. Servicio Geológico Mexicano. [http://www.sgm.gob.mx/cartas/Cartas\\_Ed50.jsp](http://www.sgm.gob.mx/cartas/Cartas_Ed50.jsp)
- Singh, C. K. y Katpatal, Y. B. (2017). A GIS based design of groundwater level monitoring network using multi-criteria analysis and geostatistical method. *Water resources management*, 31(13), pp. 4149-4163. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1737-z>
- Srivastav, A. L. (2020). Chemical fertilizers and pesticides: role in groundwater contamination. En Prasad, M. N. V. (Ed.). *Agrochemicals Detection, Treatment and Remediation*, pp. 143-159. Elsevier.
- Taheri, K., Missimer, T. M., Amini, V., Bahrami, J., Omidipour, R. (2020). A GIS-expert-based approach for groundwater quality monitoring network design in an alluvial aquifer: a case study and a practical guide. *Environ Monitor Assess*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08646>
- Valle, G. A. (2021). Priorización para la protección de fuentes de agua Subterránea mediante el análisis multicriterio en un entorno SIG. Región minera de Temascaltepec, Estado de México. [Tesis de maestría.] Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua. <https://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/112230>
- Yavuz Kumlu, K. B., Tüdeş, Ş. (2019). Determination of earthquake-risky areas in Yalova City Center (Marmara region, Turkey) using GIS based multicriteria decision-making techniques (analytical hierarchy process and technique for order preference by similarity to ideal solution). *Nat Hazards* 96(3), pp. 999-1018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03583-7>

# PROPUESTA DE MODELACIÓN SISTÉMICA Y GEOESPACIAL DE INDICADORES DE GESTIÓN DEL AGUA EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS PARA APOYAR LA TOMA DE DECISIONES

Luis Ricardo Manzano Solís  
Giovanna Santana Castañeda  
Rebeca Angélica Serrano Barquín

## INTRODUCCIÓN

El agua constituye un motor o un freno en el desarrollo sostenible de las naciones. Este recurso fomenta una buena salud humana, la diversidad ambiental es un insumo básico en la producción de alimentos y de algunos bienes económicos, es un medio de transporte o se utiliza en actividades de recreación y, en general, ayuda a preservar la armonía entre la población. En contraste, su escasez afecta a la salud humana y ambiental, así como a la producción de alimentos; mientras que su exceso no controlado, además de influir en el bienestar de la población, puede provocar inundaciones que dañan bienes muebles e inmuebles, cultivos, ecosistemas, perjudica la actividad económica de un país y conduce a conflictos sociales no deseados. Sin embargo, ante cualquiera de estos escenarios, uno de los retos actuales para lograr el desarrollo sostenible a partir del agua es una adecuada gestión de este recurso.

El agua y su gestión sostenible son temas de interés nacional (Rolland y Vega, 2010) e internacional. De hecho, algunos autores (Huber *et al.*, 2018; Nieto, 2011; Pachri *et al.*, 2013; Rolland y Vega, 2010; Rossetto *et al.*, 2018) han expuesto los vínculos directos e indirectos existentes entre el agua y aspectos del bienestar humano; sin embargo, esta perspectiva no se ha trasladado a la esfera de la gestión del líquido, que se ha traducido en leyes, normas, políticas y acciones fragmentadas.

Desde el ámbito académico se han hecho esfuerzos para modelar el sistema hídrico y sus procesos de gestión (Bing, Yao y Liqing, 2011; Chen *et al.*, 2008; Ghoraba, 2015; Omran, 2016; Ortiz, 2011; Psomas *et al.*, 2016; Saúco *et al.*, 2010; Varga, Balongh y Csukas, 2016; Zhang, Zhao y Liu, 2010). Sin embargo, estos

modelos hidrológicos (tanto estocásticos como determinísticos) se centran en los aspectos físicos del balance de agua.

Algunos autores han ido más allá de la modelación hidrológica, al tratar de sumar aspectos para modelar la gestión del agua (Huber *et al.*, 2018; Pachri *et al.*, 2013; Rossetto *et al.*, 2018). Incluso algunos autores (Huber *et al.*, 2018) agregan aspectos económicos, demográficos y sociales a sus modelos, así como uso del suelo, densidad de población, temperatura y distancia a ciudades. Aunque todos estos trabajos intentan modelar la expresión sistémica del agua, siguen dejando de lado algunas variables importantes en el funcionamiento de los sistemas de gestión del agua.

De forma adicional, en el caso de México se ha identificado que existe un problema, pues se calculan indicadores de gestión del agua (Díaz-Delgado *et al.*, 2009; Iñiguez, 2010), pero no se relacionan entre sí con la finalidad de modelar la gestión integrada del agua. Por lo tanto, se aprecia la necesidad de identificar las relaciones entre los indicadores, su tipo y grado, con el propósito de emplear esta información para diseñar y evaluar escenarios de gestión del agua.

Así que ante la dificultad de: 1) obtener series históricas de indicadores relacionados con la gestión del agua para analizar su correlación y expresarlos de forma sistémica, y 2) la complejidad de hacerlos coincidir en una escala espacial y temporal adecuada, se tiene la hipótesis de que si se analiza la correlación entre indicadores de gestión del agua de distintas poblaciones al interior de una cuenca hidrográfica, a nivel localidad, entonces, es posible modelar el sistema de gestión del agua en la cuenca. De esta forma, el modelo resultante se podría utilizar para comprender el funcionamiento actual del sistema de gestión del agua en la cuenca, así como para proponer y discutir posibles escenarios de gestión del líquido (al modular los valores de los indicadores y expresar las repercusiones que esto tendría en el resto de los indicadores componentes del sistema).

Con base en esto, la investigación que aquí se presenta tuvo como objetivo general hacer un análisis sistémico con un sustento geoespacial de indicadores de gestión del agua en una cuenca hidrográfica, para modelar sus relaciones y emplearlas en el planteamiento y discusión de posibles escenarios de gestión del agua.

## MARCO TEÓRICO

La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) es un concepto que nació en la década de los noventa (Le Page, Fakir y Aouissi, 2020), tuvo un fuerte impulso al comienzo del presente siglo y, en años recientes, está en proceso de consolidar su implementación práctica, aspecto que ha sacado a la luz incongruencias teoría-realidad aún por solventar para consolidarlo como un modelo realmente viable y sostenible.

La definición de GIRH que se ha empleado desde el comienzo (Global Water Partnership 2011) indica que se trata de “un proceso que promueve el desarrollo y gestión coordinado de agua, suelo y recursos relacionados con la finalidad de maximizar el bienestar económico y social de forma equitativa y sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales y el ambiente”. Existen autores que aún emplean esta definición (Bruns, 2017; James y Kumar, 2019; Kumar, Batchelor y James, 2019; Le Page, Fakir y Aouissi, 2020; Prakash y Singh, 2021), lo que muestra su vigencia y relevancia para enmarcar la gestión sostenible del agua.

Como se aprecia en su propia definición, la GIRH se sustenta en la visión sistémica del territorio, que a su vez se desprende de la Teoría General de Sistemas, esta ha cambiado la perspectiva al abordar el estudio de la realidad: al promover el cambio de un enfoque reduccionista que dividía la realidad y su estudio a través de distintas disciplinas que poco se comunicaban entre sí, a uno que pretende integrar las partes y promueve la comunicación entre las disciplinas para buscar el crecimiento total del conocimiento (Johansen, 2012).

Ahora bien, una forma en la que se ha buscado la implementación de la GIRH y su visión sistémica, es el empleo de la planeación estratégica. De acuerdo con Goodstein, Nolan y Pfeiffer (1998, p. 5), la planeación estratégica “es un proceso por el cual los miembros guía de una organización prevén su futuro y desarrollan los procedimientos y operaciones necesarias para alcanzarlo”. El proceso general de planeación estratégica que se emplea en la GIRH (Cap-Net *et al.*, 2005; Díaz-Delgado *et al.*, 2009) consiste en: 1) inicio del proceso; 2) definición de la misión, visión y valores para el proceso; 3) análisis de la situación; 4) selección de estrategias, 5) elaboración del plan de GIRH, 6) implementación del plan, y 7) evaluación y seguimiento.

Como señala la definición de planeación estratégica, se trata de un proceso cíclico, y luego de su comienzo, lo primero que se hace es definir la misión de dicho proceso, la visión de los resultados deseados y los valores que enmarcan la actuación de todos

los actores de interés. Posteriormente, se realiza el análisis de la situación, en el que se aclara en dónde se encuentra el proceso respecto a la visión, con la finalidad de definir las estrategias propicias para cerrar la brecha entre la condición actual y la deseada. Las estrategias se plasman en un plan de GIRH, que describe, entre otros elementos, los proyectos, objetivos, metas, corresponsables, tiempos e indicadores de valoración de los avances. Dicho plan es implementado para, después de un tiempo de funcionamiento, comenzar su seguimiento continuo (por ejemplo, cada mes o cada tres meses) y su evaluación periódica (cada uno, tres o cinco años, según se defina). Después de cada evaluación, el proceso se reajusta con la finalidad de cumplir con sus propósitos.

La presente investigación se centra en el contexto de la etapa de GIRH, “Análisis de la situación”, específicamente en una etapa avanzada en la que se conoce la situación actual de la gestión del agua en una cuenca, pero donde ahora se requiere una orientación general sobre posibilidades de actuación que conduzcan a estrategias más eficientes y se tenga conocimiento del grado de certidumbre que estas ofrecen.

Una perspectiva teórica para analizar la situación en la gestión del agua en una cuenca es el análisis estructural de sistemas (Godet, 1993; Godet y Durance, 2011), que a su vez está fundamentado en la Teoría General de Sistemas y tiene como objetivos principales 1) exponer la estructura de relaciones entre variables cualitativas de un sistema, 2) buscar representar el sistema en estudio, y 3) reducir la complejidad del sistema a sus variables esenciales, que conserven la representatividad del mismo.

Uno de los principales resultados de aplicar el análisis estructural de sistemas es un conjunto de variables clave del sistema que, como Godet (1993) señala, son de naturaleza cualitativa. Manzano (2017) propone medir los temas asociados a dichas variables mediante el uso de indicadores, a los que denomina *indicadores sistémicos de gestión del agua*. Estos indicadores permiten obtener información de referencia sobre el estatus cuantitativo y/o cualitativo de los componentes del sistema y, por lo tanto, conocer su condición actual para comenzar a esbozar estrategias generales para una gestión individual y conjunta del agua hacia la sostenibilidad.

## MATERIAL Y MÉTODO

La zona de estudio fue la cuenca del río Nenetzingo (véase figura 1), localizada entre las coordenadas extremas de latitud-longitud 18°55'58"N, 99°43'17"W y 18°50'17"N, 99°37'29"W. La cabecera se ubica en la porción noroeste y su salida en el sureste. En el contexto nacional, se ubica en la porción central de la República Mexicana, dentro del Estado de México. En específico, se ubica al sureste de dicho contexto estatal y ocupa el territorio de los municipios de Villa Guerrero e Ixtapan de la Sal. Su superficie total es de 37.6 km<sup>2</sup> y alberga a 14 localidades, de las cuales, cuatro pertenecen a Villa Guerrero y 10 a Ixtapan de la Sal.

Figura 1. Localización de la cuenca del río Nenetzingo



Fuente:

En cuanto al procedimiento, se obtuvieron los datos de los indicadores sistémicos de la cuenca del río Nenetzingo y la matriz de impactos directos generados por Manzano (2017) (veánse tablas 1 y 2, respectivamente). Ambos elementos fueron definidos a

partir de un proceso de análisis estructural (Godet, 1993; Godet y Durance, 2011) del sistema de gestión del agua de la cuenca bajo análisis. Los indicadores fueron calculados por Manzano (2017) con datos de dependencias gubernamentales para el año 2010, y su objetivo fue exponer la condición de cada una de las variables del sistema de gestión del agua en la cuenca, con la finalidad de identificar estrategias generales de gestión sostenible del agua.

**Tabla 1. Indicadores sistémicos de la cuenca del río Nenetzingo, 2010**

LOCALIDAD	INAA (%)	IM	IDCAB (BOOL)	INAR (%)	INCAP (BOOL)	IDODT (%)	IVFAE (%)	IDPC (BOOL)	ICASS (%)	ICASAD (%)
Ahuacatlán	98.8	0.4	1	63.7	1	14.3	97.6	0	33.4	140.3
Llano de la Unión	90	-0.6	0	25.3	0	0	89	0	17.6	2.7
Los Naranjos	30.9	-0.3	1	46.3	0	14.3	30.9	1	36.5	6
San Diego Alcalá (San Diego)	12	-0.9	1	20.5	0	0	10.9	0	18.8	32.4
San Miguel Laderas (San Miguel)	100	-0.3	1	42.4	1	71.4	99.6	0	33.1	18.1
Santa Ana Xochuca	100	-0.3	1	32.9	1	0	98.6	0	17.7	10.9
Tlacoachaca	100	0	0	54.3	1	0	97.2	0	23.1	-17.9
Colonia Juárez	95.2	-0.4	0	23.8	1	0	95.2	0	29.8	28.4
Llano de San Diego	5.6	-0.9	0	23.9	1	0	4.2	0	-11.3	8.9
San Pedro Tlacoachaca	100	0.1	0	45.5	1	0	100	0	15.2	3
El Carmen	100	-0.2	1	52	1	0	100	0	19.5	12.5
El Izote	95.2	-0.4	0	43.9	1	0	95.2	0	10.7	7.8
San Pedro Buenos Aires (San Pedro)	53.3	-0.8	1	29.2	0	0	53.3	0	15.4	-3.1
Totolmajac	5.6	-0.8	1	32.1	0	0	5.6	0	7.3	9.6

INAA: indicador de no acceso al agua (porcentaje).

IM: índice de marginación (adimensional).

IDCAB: indicador de descargas en cuerpos de agua o barrancas (booleano).

INAR: indicador de no acceso a refrigerador (porcentaje).

INCAP: indicador de no cobro por agua potable (booleano).

IDODT: indicador de distribución de la ocurrencia de deslizamientos de tierra (porcentaje).

IVFAE: indicador de viviendas con fuente de agua externa (porcentaje).

IDPC: indicador de disponibilidad de pozo comunitario (booleano).

ICASS: indicador de crecimiento del acceso a servicio sanitario (porcentaje).

ICASAD: indicador de crecimiento del acceso a servicios de agua y drenaje (porcentaje).

Fuente: Manzano, 2017.

La matriz de impactos directos (véase tabla 2) fue elaborada por Manzano (2017) con el apoyo de expertos en gestión sostenible del agua y considerando el método de Godet (1993) y Godet y Durance (2011). Su finalidad fue identificar la estructura del sistema de gestión del agua en la cuenca del río Nenetzingo a partir de los retos hídricos en la misma (considerados las variables del sistema). Esta matriz se lee por renglón, a manera de evaluación por pares, y responde a la pregunta: ¿existe relación de influencia directa de la variable o indicador (del renglón en cuestión en la primera columna) sobre cada una de las otras variables o indicadores (de las otras columnas para el mismo renglón)? La respuesta afirmativa a esta pregunta se representa con un valor de 1, mientras que la respuesta negativa se expresa con 0.

**Tabla 2. Matriz de impactos directos de los indicadores sistémicos**

INDICADOR	INAA	IM	IDCAB	INAR	INCAP	IDODT	IVFAE	IDPC	ICASS	ICASAD
INAA	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1
IM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IDCAB	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1
INAR	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1

*Continúa ...*

INDICADOR	INAA	IM	IDCAB	INAR	INCAP	IDODT	IVFAE	IDPC	ICASS	ICASAD
INCAP	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1
IDODT	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
IVFAE	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0
IDPC	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1
ICASS	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
ICASAD	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0

Nota: en la tabla 1 se pueden consultar las siglas de los indicadores.

Fuente: Manzano, 2017.

La tabla 2 es una evaluación cualitativa de la influencia que puede tener un indicador sobre el resto, y está fundamentada en la experiencia empírica de los evaluadores. En este sentido, más que el grado de influencia, lo que sirvió para la presente investigación fue la dirección de la relación entre indicadores. Así, por ejemplo, en la primera fila el indicador INAA tiene influencia directa sobre los indicadores IM, INCAP, IVFAE, IDPC, ICASS e ICASAD, pero su condición no influye sobre los indicadores IDCAB, INAR e IDODT. Por lo tanto, y para este ejemplo específico, sólo se debe evaluar la correlación y regresión con el primer grupo de indicadores y se debe dejar de lado el segundo grupo.

También es importante señalar que la correlación entre dos indicadores no señala causalidad; es decir, no importa que dos indicadores estén altamente correlacionados (de forma directa o inversamente proporcional), esto no indica que uno causa al otro, sino, más bien, que su comportamiento está estrechamente asociado (pudiendo ser causado, en realidad, por una tercera variable que influye al mismo tiempo sobre estos dos). Y aquí es precisamente donde se empleó la matriz de la tabla 2, para contar con una referencia de la dirección de la relación entre dos indicadores.

De esta manera se tomó cada indicador de la tabla 1 y se identificó el mejor modelo de ajuste de correlación respecto al resto de indicadores sobre los que influye. Este ajuste se determinó mediante el cálculo de los coeficientes de correlación de los modelos lineal, exponencial, logarítmico y potencial (ecuaciones 1 a 4) (Conagua, 1994) y la posterior selección del valor de correlación ( $r$ ) que expresaba el mejor ajuste para usar la ecuación de regresión correspondiente.

$$r_{lin} = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i y_i) - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n (y_i)^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$r_{lin}$  = coeficiente de correlación lineal

$x$  = variable independiente

$y$  = variable dependiente

$n$  = número de elementos

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

$$r_{exp} = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i \ln y_i) - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n \ln y_i}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n (\ln y_i)^2 - (\sum_{i=1}^n \ln y_i)^2]}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$r_{exp}$  = coeficiente de correlación exponencial

$x$  = variable independiente

$y$  = variable dependiente

$\ln$  = logaritmo neperiano

$n$  = número de elementos

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

$$r_{log} = \frac{n(\sum_{i=1}^n (\ln x_i) y_i) - \sum_{i=1}^n \ln x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n (\ln x_i)^2 - (\sum_{i=1}^n \ln x_i)^2][n \sum_{i=1}^n (y_i)^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$r_{log}$  = coeficiente de correlación logarítmica

$x$  = variable independiente

$y$  = variable dependiente

$\ln$  = logaritmo neperiano

$n$  = número de elementos

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

$$r_{pot} = \frac{n \sum_{i=1}^n (\ln x_i \ln y_i) - \sum_{i=1}^n \ln x_i \sum_{i=1}^n \ln y_i}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n (\ln x_i)^2 - (\sum_{i=1}^n \ln x_i)^2][n \sum_{i=1}^n (\ln y_i)^2 - (\sum_{i=1}^n \ln y_i)^2]}}$$

Ecuación 4

Donde:

$r_{pot}$  = coeficiente de correlación potencial

$x$  = variable independiente

$y$  = variable dependiente

ln = logaritmo neperiano

$n$  = número de elementos

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

Es importante recordar que el coeficiente de correlación  $r$  de las ecuaciones 1 a 4 resulta en un rango entre -1 y 1, pasando por 0. En los extremos, un valor de  $r = -1$  indica una correlación inversamente proporcional perfecta (mientras  $x$  incrementa,  $y$  disminuye, y viceversa) y, en el sentido opuesto, un valor de  $r = 1$  expresa una correlación directamente proporcional perfecta (mientras  $x$  incrementa,  $y$  también lo hace, y viceversa). Finalmente, un valor de  $r = 0$  indicaría ausencia total de correlación entre las variables  $x$  y  $y$ .

Este valor del coeficiente de correlación además aporta un criterio de selección en caso de que dos indicadores coincidan en influir sobre un tercero, ya que se podría elegir el mejor coeficiente de correlación entre los dos indicadores influyentes para modelar el indicador sobre el cual influyen. Un ejemplo de lo anterior se encuentra en los indicadores INAA e IDCAB de la tabla 2, porque ambos influyen sobre el indicador IM. En este caso, el mejor coeficiente de correlación (INAA con IM o IDCAB con IM) ayudaría a decidir si modelar escenarios de IM con INAA o IDCAB.

Las ecuaciones de regresión también correspondieron a los modelos lineal (véase ecuación 5), exponencial (véase ecuación 6), logarítmico (véase ecuación 7) y potencial (véase ecuación 8) (Conagua, 1994). De esta manera, según el mejor coeficiente de correlación entre cada par de indicadores, se aplicó una de las ecuaciones 5 a 8 para modelar el comportamiento de la relación entre cada par de indicadores.

$$y = a + bx$$

Ecuación 5

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Ecuación 5.1

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i y_i) - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

Ecuación 5.2

Donde:

$y$  = variable dependiente

$x$  = variable independiente

$n$  = número de elementos

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

$$y = ae^{bx}$$

Ecuación 6

$$a = e^{\left(\frac{\sum_{i=1}^n \ln y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n}\right)}$$

Ecuación 6.1

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i \ln y_i) - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n \ln y_i}{n \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

Ecuación 6.2

Donde:

$y$  = variable dependiente

$e = \sim 2.718281828$

$x$  = variable independiente

$\ln$  = logaritmo neperiano

$n$  = número de elementos

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

$$y = a + b \ln x$$

Ecuación 7

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n \ln x_i}{n}$$

Ecuación 7.1

$$b = \frac{n(\sum_{i=1}^n (\ln x_i) y_i) - \sum_{i=1}^n \ln x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n (\ln x_i)^2 - (\sum_{i=1}^n \ln x_i)^2}$$

Ecuación 7.2

Donde:

$y$  = variable dependiente

$\ln$  = logaritmo neperiano

$x$  = variable independiente

$n$  = número de elementos

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

$$y = ax^b$$

Ecuación 8

$$a = e^{\left(\frac{\sum_{i=1}^n \ln y_i - b \sum_{i=1}^n \ln x_i}{n}\right)}$$

Ecuación 8.1

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n (\ln x_i \ln y_i) - \sum_{i=1}^n \ln x_i \sum_{i=1}^n \ln y_i}{n \sum_{i=1}^n (\ln x_i)^2 - (\sum_{i=1}^n \ln x_i)^2}$$

Ecuación 8.2

Donde:

$y$  = variable dependiente

$\ln$  = logaritmo neperiano

$x$  = variable independiente

$n$  = número de elementos

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

Con la finalidad de tener medidas de certidumbre del proceso empleado, se clasificó el valor del coeficiente de correlación (Martínez, 2012) seleccionado para identificar el mejor modelo de regresión (véase tabla 3) y, en cuanto a este último, se calculó el valor de la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RCECM en la ecuación 9) (Martínez, 2022).

**Tabla 3. Clasificación de los valores del coeficiente de correlación**

VALOR ABSOLUTO DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN ( $r$ )	CATEGORIZACIÓN DE LA CORRELACIÓN
$r < 0.3$	Nula
$0.3 \leq r < 0.6$	Mínima
$0.6 \leq r < 0.8$	Regular
$0.8 \leq r < 0.9$	Aceptable
$r \geq 0.9$	Perfecta

Fuente: Martínez, 2012.

Respecto a la tabla 3 es importante mencionar que Martínez (2012) no muestra límites claros entre las categorías (solo emplea símbolos de “mayor que” o “menor que”), por lo que se tomó la decisión de igualar a  $r$  con los límites inferiores (símbolo “mayor o igual que”).

En cuanto a la RCECM (véase ecuación 9), esta ofrece un valor que indica, de forma global, qué tan aproximados son los valores estimados de la variable dependiente con el modelo de regresión respecto a los valores reales de la misma variable dependiente. Por lo tanto, mientras más se aproxime el valor de la RCECM a 0, entonces, se estará hablando de un mejor modelo y, en sentido opuesto, mientras más se aleje de dicho valor, entonces se puede indicar una modelación menos precisa.

$$RCECM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2}{n}}$$

Ecuación 8

Donde:

$RCECM$  = raíz cuadrada del error cuadrático medio

$y$  = variable dependiente real

$y'$  = variable dependiente estimada con el modelo de regresión

$n$  = número de elementos

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

De esta manera, se estuvo en condición de modelar indicadores meta. Estos indicadores meta suponen un valor de indicador deseado y con éste se puede estimar, mediante el modelo de regresión más adecuado, el comportamiento resultante en los indicadores sobre los que tiene influencia.

Finalmente, y considerando que se tendrían que tratar todos los indicadores en todo el procedimiento descrito y, por lo tanto, se trataba de un proceso iterativo, se decidió realizar la implementación de dicho procedimiento en Python con la finalidad de automatizarlo.

Dentro de este lenguaje de programación se ocuparon principalmente los módulos de NumPy, Pandas y GeoPandas. Pandas permitió trabajar con las tablas de atributos (denominadas *Dataframe* en este paradigma de trabajo) con un esquema “No SQL”, es decir, se hicieron consultas de atributos sin necesidad de recurrir a lenguaje de consulta estructurado o SQL (por sus siglas en inglés). NumPy únicamente se empleó para hacer operaciones con funciones logarítmicas en el *Dataframe* de Pandas. Para finalizar, GeoPandas se ocupó para dar un contexto espacial a los datos de salida, es decir, que estos quedaran asociados a su localidad respectiva en una capa vectorial para poderlos visualizar en cualquier SIG.

Una vez automatizado el proceso, se procedió a ejecutar modelaciones para todos los indicadores, considerando las particularidades de cada una de las localidades. En este sentido, se establecieron indicadores meta (variable independiente) para evaluar la respuesta del modelo en los otros indicadores sobre los cuales influye (variable dependiente). Los indicadores meta no fueron homogéneos entre las localidades, sino que se plantearon posibles escenarios según su condición actual. Así, por ejemplo, para una localidad donde un indicador tiene un valor alto deseable (como 90%) no se establecerá una meta similar a la de una localidad con un valor bajo del mismo indicador menos deseable (como 20%). En el primer caso, lo máximo a lo que se puede aspirar es a metas entre 90 y 100% (el máximo posible); mientras que en el

segundo caso, se pueden evaluar metas entre el 20 y el 100%, siendo poco realista suponer que se llegará en el corto plazo a un 100%, por lo que se recomiendan metas más factibles, como 25, 33 y 50 por ciento.

De esta manera, se requieren cuatro entradas y se generan varias salidas. Las entradas son: una tabla con los valores actuales de los indicadores (denominados indicadores medidos), una tabla con la matriz de impactos directos de los mismos indicadores, una tabla con los indicadores meta (que son para los que se modelará la respuesta en el resto de los indicadores asociados) y un archivo vectorial en formato *Shapefile* de ESRI con las entidades espaciales de los sitios evaluados (en este caso, de las localidades de la cuenca del río Nenetzingo). Por otro lado, las salidas generadas son: una tabla con los resultados de la evaluación de correlación, una tabla con los indicadores estimados a partir de los indicadores meta (una tabla por cada indicador evaluado) y una capa vectorial por cada indicador meta modelado (una por cada relación que tiene con el resto de indicadores sobre los que influye).

Por cuestiones de espacio, en el presente documento solo se presenta el caso de la evaluación de una meta para los indicadores INAA, INAR e IDODT, cuya aplicación es suficiente para explicar las conclusiones a las que se llegó con la investigación.

## RESULTADOS

El primer resultado se muestra en la tabla 4, donde se presenta el análisis de correlación y la selección del mejor modelo de ajuste por regresión (21 lineales y dos logarítmicas). En la primera columna de esta tabla se señala el nombre del indicador meta (variable independiente), en la segunda columna se pueden apreciar los indicadores (variable dependiente) con los que está relacionado cada uno de los anteriores. En la siguiente columna, denominada “coeficiente de correlación”, se indica el valor de dicho coeficiente entre la variable independiente y la variable dependiente, mientras que en la cuarta columna se señala el modelo de mejor ajuste con el que se obtuvo dicho coeficiente, y en la quinta columna la categorización del coeficiente de correlación según Martínez (2012). Finalmente, en la última columna se expone el valor de la RCECM generado de aplicar el modelo de regresión con los valores conocidos de las variables independiente y dependiente.

En un ejemplo de análisis de la tabla 4, el indicador INAA está relacionado con seis indicadores, y en todos los casos la relación se podría representar mediante un modelo de regresión lineal; sin embargo, y de acuerdo con la categoría de ajuste y la RCECM, solo el indicador IVFAE tendría la mejor certidumbre en la modelación al contar con un ajuste perfecto y, en sentido opuesto, los indicadores IDPC e ICASAD generarían resultados con un amplio rango de incertidumbre por su nulo ajuste (que es fundamental considerar en el proceso de toma de decisiones). Un análisis similar se puede hacer para los indicadores INAR e IDODT de la misma tabla 4.

Los colores manejados en la tabla 4 buscan resaltar tres situaciones principales. En primer lugar, en color azul se señala al indicador IVFAE (variable dependiente) que está relacionado con los tres indicadores considerados como variables independientes (INAA, INAR e IDODT); sin embargo, la relación IDODT-IVFAE es nula (ajuste lineal), al mismo tiempo que la relación INAR-IVFAE es mínima (ajuste logarítmico) y la relación INAA-IVFAE es perfecta (lineal). Por lo tanto, lo ideal es usar el último caso para modelar escenarios sobre la variable IVFAE. De esta forma, el procedimiento propuesto permite identificar qué actuación en el sistema (en este caso en INAA) podría dar mejores resultados sobre algún otro (como fue el caso de IVFAE), sobre todo cuando son más de uno los indicadores influyentes.

**Tabla 4. Resultados del análisis de correlación y selección del mejor modelo de ajuste por regresión**

VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN ( $r$ )	MEJOR MODELO DE AJUSTE (REGRESIÓN)	CATEGORÍA DEL AJUSTE DE $r$	RAÍZ CUADRADA DEL ERROR CUADRÁTICO MEDIO
INAA	IM	0.738	Lineal	Regular	0.257
	INCAP	0.626	Lineal	Regular	0.374
	IVFAE	1.000	Lineal	Perfecta	0.813
	IDPC	-0.287	Lineal	Nula	0.247
	ICASS	0.461	Lineal	Mínima	10.614
	ICASAD	0.127	Lineal	Nula	35.511

VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN ( $r$ )	MEJOR MODELO DE AJUSTE (REGRESIÓN)	CATEGORÍA DEL AJUSTE DE $r$	RAÍZ CUADRADA DEL ERROR CUADRÁTICO MEDIO
INAR	INAA	0.524	Logarítmico	Mínima	32.572
	IM	0.857	Lineal	Aceptable	0.197
	IDCAB	0.145	Lineal	Nula	0.490
	INCAP	0.441	Lineal	Mínima	0.430
	IVFAE	0.523	Logarítmico	Mínima	32.533
	IDPC	0.173	Lineal	Nula	0.254
	ICASS	0.454	Lineal	Mínima	10.654
	ICASAD	0.374	Lineal	Mínima	33.206
IDODT	INAA	0.197	Lineal	Nula	37.487
	IM	0.215	Lineal	Nula	0.373
	IDCAB	0.334	Lineal	Mínima	0.466
	INAR	0.232	Lineal	Nula	12.486
	INCAP	0.173	Lineal	Nula	0.472
	IVFAE	0.199	Lineal	Nula	37.416
	IDPC	0.107	Lineal	Nula	0.256
	ICASS	0.471	Lineal	Mínima	10.553
	ICASAD	0.165	Lineal	Nula	35.308

Nota: en la tabla 1 se pueden consultar las siglas de los indicadores.

En segundo lugar, en color verde se muestra que el indicador INAA influye sobre otros seis indicadores, pero que, al mismo tiempo, este es influido por los indicadores INAR e IDODT (esta situación se resalta con color verde también). Por lo tanto, se puede hablar de que podría ser factible establecer actuaciones indirectas para atender la mayor cantidad posible de indicadores. En este caso, una actuación sobre INAR podría influir directamente sobre INAA e indirectamente sobre IM, INCAP, IVFAE, IDPC, ICASS, ICASAD (a través de INAA). Y subiendo un nivel más, actuaciones sobre IDODT podrían influir directamente sobre INAR, directa e indirectamente sobre INAA y, en un nivel más, indirectamente sobre los indicadores asociados a INAA (esta última situación se expresa mediante el color anaranjado en algunos elementos de la tabla 4).

No obstante lo anterior, y como parte de la certidumbre que se busca, parece ser más conveniente actuar por las relaciones directas que por las indirectas (al menos en el caso específico de los indicadores considerados en la tabla 4). Esta situación constituye el tercer punto a resaltar. Y es que IDODT tiene una nula relación con INAA e INAR, por lo que la incertidumbre en los resultados sería grande para tratar de actuar indirectamente sobre IVFAE (por ejemplo); en cambio, una actuación directa en INAA daría resultados con mejores perspectivas sobre IVFAE, esto gracias a la correlación perfecta que existe entre ambos indicadores. Por lo tanto, este acercamiento de análisis permite diferenciar las mejores rutas de actuación para generar resultados efectivos en indicadores específicos.

En lo que se refiere a los resultados relacionados con la modelación de escenarios, en la tabla 5 se expone un ejemplo para la modelación del indicador IVFAE a partir del indicador INAA (aunque hay que recordar que la aplicación creada desarrolló los escenarios para todos los indicadores relacionados con INAA, pero solo se presenta como ejemplo el que cuenta con mayor certidumbre de modelación). La primera columna de la tabla 5 indica la localidad a la que pertenecen los datos, la segunda y tercera columnas muestran los valores de los indicadores calculados por Manzano (2017), mientras que la cuarta columna señala los valores meta del indicador INAA (variable independiente), con los que se obtienen los valores estimados para IVFAE (variable dependiente) de la última columna de la misma tabla.

Los valores de la última columna fueron calculados con el modelo de regresión señalado para este par de indicadores en la tabla 4, por lo que la certidumbre del mismo (categoría de ajuste y RCECM) puede ser evaluada a partir de dicha tabla. Es importante destacar que cada localidad cuenta con un valor de referencia (INAA medido de la tabla 5), por lo que es necesario que las metas que se establezcan sean acordes con cada caso específico. Lo anterior implica que una localidad que tiene baja proporción de viviendas sin acceso a agua (INAA), por ejemplo 5.6% (en Totolmajac), puede aspirar a buscar un porcentaje menor, e incluso llegar a 0%; pero, en el sentido opuesto, para una localidad cuya totalidad de viviendas carece del servicio de agua (INAA de 100%, como en El Carmen), sería poco lógico tratar de llegar a un 0% a la par del Totolmajac y, más bien, podría buscar su reducción gradual (al 90, 80 o 75%) según los recursos de los que disponga en cada ciclo de planeación de GIRH.

De este resultado se desprende que las metas de planeación dependerán tanto del resultado deseado (por ejemplo, para el caso del IVFAE), como de la posibilidad de actuar en el indicador que influye sobre este (como es el caso del INAA en el ejemplo de la tabla 5 y el párrafo anterior).

Como se mencionó previamente, el procedimiento desarrollado modela los escenarios para todos los indicadores que se le ingresen. En la tabla 6 se presenta el resultado para la modelación de IVFAE a partir del indicador INAR. Como se señaló en la tabla 4 (y sus comentarios asociados), la correlación entre este par de indicadores no es buena (de hecho, está catalogada como mínima), por lo que la incertidumbre es grande (RCECM de 32.5).

**Tabla 5. Modelación del indicador de viviendas con fuente de agua externa (IVFAE) a partir del indicador de no acceso a agua (INAA)**

LOCALIDAD	INAA MEDIDO (%)	IVFAE MEDIDO (%)	INAA META PROPUESTA (%)	IVFAE ESTIMADO (%)*
Ahuacatlán	98.8	97.6	75.0	74.3
Llano de la Unión	90.0	89.0	75.0	74.3
Los Naranjos	30.9	30.9	25.0	24.4
San Diego Alcalá (San Diego)	12.0	10.9	5.0	4.4
San Miguel Laderas (San Miguel)	100.0	99.6	75.0	74.3
Santa Ana Xochuca	100.0	98.6	75.0	74.3
Tlacoachaca	100.0	97.2	75.0	74.3
Colonia Juárez	95.2	95.2	75.0	74.3
Llano de San Diego	5.6	4.2	3.0	2.4
San Pedro Tlacoachaca	100.0	100.0	75.0	74.3
El Carmen	100.0	100.0	75.0	74.3
El Izote	95.2	95.2	75.0	74.3
San Pedro Buenos Aires (San Pedro)	53.3	53.3	33.0	32.4
Totalmajac	5.6	5.6	3.0	2.4

\* Correlación perfecta y un RCECM de 0.813 para este par de indicadores (véase tabla 4).

Ejemplos de aspectos a considerar en la tabla 6 son la presencia de valores negativos en el IVFAE estimado (el valor mínimo modelado no puede ser menor a 0), así como la inconsistencia en el comportamiento esperado. Este último punto se ilustra considerando que a menor INAR, el IVFAE también debería reducir (ya que se trata de una relación directamente proporcional); sin embargo, hay casos donde a pesar de establecer una meta de INAR menor a la INAR medida, el valor modelado de IVFAE meta aumenta (como en el caso de San Miguel Laderas). En consecuencia, el tomador de decisiones deberá considerar esta información para analizar con precaución los resultados o para descartarlos definitivamente; pero todo con el sustento que brinda el procedimiento.

Con la finalidad de exponer la expresión espacial en el procedimiento desarrollado, en la figura 2 se muestra la distribución espacial de los indicadores medidos y modelados (veánse figuras 2a y 2b, respectivamente) con los datos presentados en la tabla 5, con la finalidad de brindar una perspectiva que permita ver y comparar la distribución de los posibles beneficios en las localidades de la cuenca. Es importante señalar que, al igual que en el caso de los resultados tabulares (como los ejemplificados en las tablas 5 y 6), también se obtuvo una capa vectorial de SIG por cada par de relaciones analizadas entre indicadores.

**Tabla 6. Modelación del indicador de viviendas con fuente de agua externa (IVFAE) a partir del indicador de no acceso a refrigerador (INAR).**

LOCALIDAD	INAR MEDIDO (%)	IVFAE MEDIDO (%)	INAR META PROPUESTA (%)	IVFAE ESTIMADO (%)*
Ahuacatlán	63.7	97.6	50.0	88.7
Llano de la Unión	25.3	89.0	20.0	35.5
Los Naranjos	46.3	30.9	33.0	64.6
San Diego Alcalá (San Diego)	20.5	10.9	10.0	-4.7
San Miguel Laderas (San Miguel)	42.4	99.6	33.0	64.6
Santa Ana Xochuca	32.9	98.6	25.0	48.5
Tlacoachaca	54.3	97.2	33.0	64.6
Colonia Juárez	23.8	95.2	15.0	18.8

LOCALIDAD	INAR MEDIDO (%)	IVFAE MEDIDO (%)	INAR META PROPUESTA (%)	IVFAE ESTIMADO (%)*
Llano de San Diego	23.9	4.2	15.0	18.8
San Pedro Tlacochaca	45.5	100.0	33.0	64.6
El Carmen	52.0	100.0	33.0	64.6
El Izote	43.9	95.2	33.0	64.6
San Pedro Buenos Aires (San Pedro)	29.2	53.3	25.0	48.5
Totolmajac	32.1	5.6	25.0	48.5

\* Correlación mínima y un RCECM de 32.5 para este par de indicadores (véase tabla 4).

Se considera que los resultados que genera la propuesta de modelación sistémica y geoespacial de indicadores de gestión del agua en cuencas hidrográficas proporcionan a los actores de interés una herramienta para apoyar la toma de decisiones. Lo anterior debido a que dichos resultados dan una orientación sobre posibles escenarios según ciertas combinaciones de actuación que se configuren, permite cambiar las condiciones iniciales en los indicadores meta y hacer varias corridas para apreciar los posibles escenarios y, finalmente, brindan una medida de certidumbre para tener precaución en la toma de decisiones.

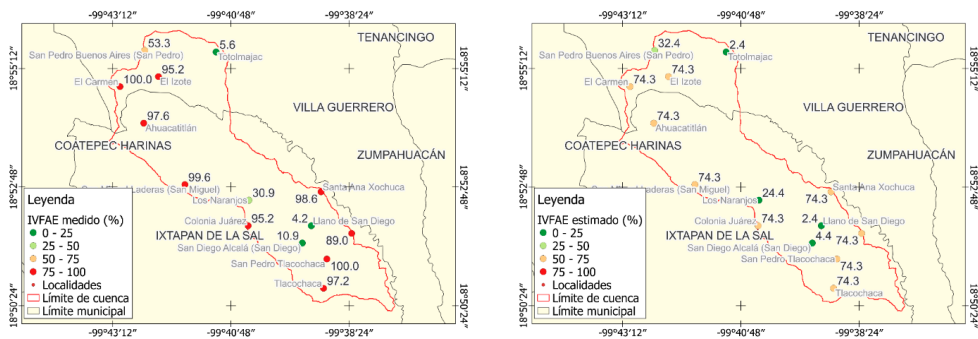


Figura 2. Resultados espaciales. 2a) IVFAE medido, y 2b) escenario de IVFAE estimado (generado este último a partir de la meta propuesta del INAA en la tabla 5).

## CONCLUSIONES

Después de desarrollar la experiencia, se puede concluir que se logró hacer un análisis sistémico con base geoespacial de indicadores de gestión del agua en una cuenca hidrográfica, como medio para modelar sus relaciones y emplearlas para plantear y discutir posibles escenarios de gestión del agua.

En la modelación se utilizaron indicadores representativos del sistema de gestión del agua de la cuenca del río Nenetzingo —al sureste del Estado de México—, que incluían aspectos ambientales, sociales y económicos. Aunque se conocía la existencia de relaciones entre estos indicadores, la presente investigación ayudó a determinar el tipo (mejor ajuste de regresión), grado (coeficiente de correlación) y certidumbre de dichas relaciones (RCECM).

Como la correlación no implica causalidad y, por lo tanto, no proporciona la dirección de la influencia entre los indicadores, se ha tenido que recurrir al análisis estructural propuesto por Godet (1993) para identificar la forma en que los indicadores están relacionados e influyen unos sobre otros.

Al considerar la hipótesis propuesta, se ha analizado la correlación entre indicadores de gestión del agua de distintas localidades al interior de la cuenca del río Nenetzingo, a partir de la que ha sido posible modelar el sistema de gestión del agua en la cuenca. Los resultados exponen que cuando la correlación es aceptable o perfecta es posible estimar el comportamiento de los indicadores meta a partir de la matriz de impactos directos, la identificación del mejor ajuste de regresión y el empleo de este último para modelar escenarios a partir de indicadores meta y los valores que proyecta en los indicadores sobre los que influye. Sin embargo, cuando la correlación es regular, mínima o nula, la modelación genera resultados con alta incertidumbre. El usuario ha de tener presente en todo momento que ninguna herramienta, como la aquí descrita, toma decisiones, sino que apoya a quien le corresponde tomarlas.

Con base en los resultados obtenidos, se puede establecer que la modelación es de utilidad para identificar retos y estrategias generales para la gestión sostenible de los recursos hídricos, tanto para tomadores de decisiones, como para todos aquellos actores de interés que participen en un proceso de gestión integrada de recursos hídricos.

La perspectiva de desarrollo y aplicaciones de la presente propuesta de modelación sistémica y geoespacial es alentadora, sobre todo a la luz de los escasos recursos hídricos que es necesario manejar de forma estratégica. Aquí se brinda no solo a los expertos,

sino a todos los actores de interés de un proceso de GIRH, un medio para presentar propuestas, evaluar sus posibles consecuencias y decidir, a partir de una visión común, el mejor camino a seguir para buscar la sostenibilidad de sus recursos hídricos.

## REFERENCIAS

- Bing, L., Yao, J. y Liqing, Q. (2011). Research on the model of Nam Co lake water level evolution based on GIS. *Procedia Environmental Sciences*, 10, pp. 1513-1518. DOI: 10.1016/j.proenv.2011.09.241
- Bruns, B. (2017). Challenges of Polycentric Water Governance in Southeast Asia: Awkward Facts, Missing Mechanisms, and Working with Institutional Diversity. En Shivakoti, G. P., Pradhan, U. y Helmi, H. (Eds.). *Redefining Diversity & Dynamics of Natural Resources Management in Asia*. Vol. 1, Elsevier, pp. 55-66).
- Cap-Net, Global Water Partnership y UNDP (2005). *Planes de gestión integrada del recurso hídrico. Manual de capacitación y guía operacional*. Cap-Net.
- Chen, D., Carmona-Moreno, C., Leone, A. y Shams, S. (2008). Assessment of open source GIS software for water resources management in developing countries. *JCR Scientific and Technical Reports*. The Publications Office of the European Union. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2e57c3b9-8871-4d19-8685-2b7351260518/language-en>
- Comisión Nacional del Agua [Conagua] (1994). Datos básicos. Proyectos de agua potable y Alcantarillado. Conagua.
- Díaz-Delgado, C., Esteller, M. V., Velasco-Chilpa, A., Martínez-Vilchis, J. M., Arriaga-Jordán, C. M., Vilchis-Francis, A. Y., Manzano-Solís, L. R., Colín-Mercado, M., Miranda-Juárez, S., Uribe-Caballero, M. L. W. y Peña-Hinojosa, A. (2009). *Guía de planeación estratégica participativa para la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago. Capítulo Estado de México*. Universidad Autónoma del Estado de México [UAEMEX].
- Ghoraba, S. M. (2015). Hydrological modeling of the Simly Dam watershed (Pakistan) using GIS and SWAT model. *Alexandria Engineering Journal*, 54, pp. 583-594. DOI: 10.1016/j.aej.2015.05.018
- Global Water Partnership (2011). What is IWRM? <https://www.gwp.org/en/GWP-CEE/about/why/what-is-iwrm/>

- Godet, M. (1993). *De la anticipación a la acción. Manual de prospectiva estratégica*. Marcombo.
- Godet, M. y Durance, P. (2011). *Strategic Foresight. For Corporate and Regional Development*. UNESCO.
- Goodstein, L. D.; Nolan, T. M. y Pfeiffer, J. W. (1998). *Planeación estratégica aplicada. Cómo desarrollar un plan que realmente funcione*. McGraw-Hill.
- Huber, V., Meyer, S., Kok, K., Verweij, P. y Ludwig, R. (2018). Deriving spatially explicit water uses from land use change modelling results in four river basins across Europe. *Science of the Total Environment*, 628-629, pp. 1079-1097. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.051
- Iñiguez, C. D. (2010). Uso y valor del recurso hídrico urbano. Sistema de agua potable en Culiacán. *Urbano*, 13(21), pp. 41-47.
- James, A. J. y Kumar, M. D. (2019). Downscaling IWRM plans from basin to districts: IWRM plan for Pali district in Western Rajasthan. En Kumar, M. D., Reddy, V. R. y James, A. J. (Eds.). *Current Directions in Water Scarcity Research*, pp. 213-244. Elsevier.
- Johansen, O. (2012). *Introducción a la Teoría General de Sistemas*. Limusa.
- Kumar, M. D., Batchelor, C. y James, A. J. (2019). Operationalizing IWRM concepts at the basin level: From theory to practice. En Zribi, M., Brocca, L., Trambly, Y. y Molle, F. (Eds.). *Current Directions in Water Scarcity Research*, pp. 299-329. Elsevier.
- Le Page, M., Fakir, Y. y Aouissi, J. (2020). Modeling for integrated water resources management in the Mediterranean region. En Zribi, M., Brocca, L., Trambly, Y. y Molle, F. (Eds.). *Water Resources in the Mediterranean Region*, pp. 157-190. Elsevier.
- Manzano, L. R. (2017). *Modelo hidrogeomático de indicadores sistémicos para la gestión integrada de recursos hídricos*. [Tesis doctoral.] UAEMEX. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/67764>
- Martínez, C. (2012). *Estadística básica aplicada*. ECOE ediciones.
- Martínez Heras, J. (2023). Error cuadrático medio para regresión. En Martínez Heras, J. *IArtificial.net*. <https://www.iartificial.net/error-cuadratico-medio-para-regresion/>
- Nieto, N. (2011). La gestión del agua: tensiones globales y latinoamericanas. *Política y Cultura*, 36, pp. 157-176.
- Omran, E. E. (2016). A stochastic simulation model to early predict susceptible areas to water table level fluctuations in North Sinai, Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 19, pp. 235-257. DOI: 10.1016/j.ejrs.2016.03.001
- Ortiz, M. (2011). Generación de un Sistema de Información Geográfica como instrumento para la gestión del agua en la ciudad de San Luis Potosí. *Revista Geográfica de América Central*, 2, pp. 1-15.

- Pachri, H., Mitani, Y., Ikemi, H., Djamaluddin, I. y Morita, A. (2013). Development of water management system by using GIS in Chirchik basin, Uzbekistan. *Procedia Earth and Planetary Science*, 6, pp. 169-176. DOI: 10.1016/j.proeps.2013.01.023
- Prakash, S. y Singh, R. (2021). Sustainable water resources. En Mustansar, C. y Velasco Muñoz, J. F. (Eds.). *Sustainable Resource Management. Modern Approaches and Contexts*, pp. 147-162. Elsevier.
- Psomas, A., Panagopoulos, Y., Konsta, D. y Mimikou, M. (2016). Designing water efficiency measures in a catchment in Greece using WEAP and SWAT models. *Procedia Engineering*, 162, pp. 269-276. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.058
- Rolland, L. y Vega, Y. (2010). La gestión del agua en México. *Polis: Investigación y Análisis Sociopolítico y Psicosocial*, 6(2), pp. 155-188.
- Rossetto, R., Filippis de G., Borsi, I., Foglia, L., Cannata, M., Criollo, R. y Vázquez-Suñe, E. (2018). Integrating free and open source tools and distributed modelling codes in GIS environment for data-based groundwater management. *Environmental Modelling and Software*, 107, pp. 2010-230. DOI: 10.1016/j.envsoft.2018.06.007
- Saúco, A. M., Rebaza, I., Borrego, A., Turrueles, Y. y Gomez, Y. (2010). Sistema de gestión de asignación de aguas disponibles. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 4(1-2), pp. 33-39.
- Varga, M., Balogh, S. y Csukas, B. (2016). GIS based generation of dynamic hydrological and land patch simulation models for rural watershed areas. *Information processing in Agriculture*, 3, pp. 1-16. DOI: 10.1016/j.inpa.2015.11.001
- Zhang, G. Z., Zhao, W. N. y Liu, H. (2010). A GIS-based decision support system for water trade management of river basin cities. *Procedia Environmental Sciences*, 2, pp. 650-655. DOI: 10.1016/j.proenv.2010.10.073



# SUPERFICIE ÓPTIMA PARA UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL Y ESCURRIMIENTOS EN EL CERRO DE COATEPEC, CU, TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO

María Teresa Moreno Santiago

Roy Estrada Olivella

Marcela Virginia Santana Juárez

Beatriz González Monroy

## INTRODUCCIÓN

De los recursos naturales renovables del planeta, el agua es uno de los más importantes para la humanidad, la supervivencia de todos los seres vivos y el desarrollo de las actividades productivas; por ello, las primeras civilizaciones se asentaron junto a fuentes de agua. La escasez del agua constituye uno de los principales desafíos del siglo XXI, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el planeta cuenta con 3% de agua dulce apta para el consumo humano, del cual 2% se encuentra congelada en glaciares y solo 1% es accesible para su aprovechamiento (ONU, 2010).

La urbanización altera la fase terrestre del ciclo hidrológico, pues incrementa el volumen y la velocidad del escurrimiento superficial debido a las superficies pavimentadas que impiden la infiltración del agua al subsuelo y a los sistemas de drenaje que son cada vez más eficientes en su objetivo de conducir las precipitaciones fuera de la ciudad (Campos Aranda, 1999).

En las grandes ciudades, los sistemas de captación de agua pluvial y escurrimientos (RWHS, por sus siglas en inglés), son cada día más aceptados por la necesidad de conservación, aprovechamiento y ahorro del agua. Un diseño y el dimensionamiento adecuado de estos sistemas son claves para optimizar su operación y evitar construir infraestructuras hidráulicas subdiseñadas y peligrosas o, por el contrario, sobrediseñadas y costosas. En la hidrología de una cuenca urbana, a diferencia del escurrimiento natural, el caudal se aumenta o se reduce con la construcción de nuevas

estructuras hidráulicas. Esta intervención humana transforma la trayectoria inicial del agua y la topografía en configuraciones con pendientes casi nulas, que propician el desarrollo de zonas inundables, ante eventos de precipitaciones extremas.

Una correcta gestión del agua de lluvia mitigaría los efectos ocasionados por las inundaciones y permitiría tener agua de calidad en épocas de sequía para diferentes usos, incluso los potables (con ciertos filtros), como: limpieza, procesos industriales, sanitarios, riego, jardines, áreas verdes, parques y recarga de las reservas subterráneas. En las zonas metropolitanas de alta densidad poblacional y gran industrialización, las precipitaciones pluviales son inservibles para el consumo humano directo, pues remueven de la atmósfera partículas y gases emitidos, tanto por fuentes naturales (actividad volcánica) como fuentes antropogénicas (emisiones vehiculares e industriales).

En época de lluvias es muy frecuente que en las zonas urbanas se presenten torrentes de agua casi cristalina que fluye por las calles como si fuera un río y, aproximadamente, toda va a parar a la alcantarilla. Es incomprensible que con la alta demanda que existe por el desmedido crecimiento de las zonas metropolitanas, desperdiciemos un recurso de origen limpio. El alcantarillado, a su vez, nunca es suficiente para desalojar la lluvia durante una tormenta, pues ingresa al drenaje un volumen 10 veces mayor que el que circula normalmente solo con aguas negras.

A pesar de que se puede captar un volumen importante de agua de lluvia en las cubiertas de las casas, en los centros comerciales e incluso en las industrias, esto no es suficiente para resolver el problema. Se debe re-encauzar toda esa agua que escurre por la calle, por las laderas y declives, aunque al caer arrastre los contaminantes que se encuentran adheridos a las superficies impermeables sobre las que escurre se puede limpiar, almacenar e infiltrar a fin de recargar los mantos acuíferos.

El RWHS es un conjunto formado por redes de captación, embalse artificial, depósitos de almacenamiento soterrado, plantas de tratamiento y pozos de infiltración al acuífero. Todos ellos pueden ser insertados y replicados en diversos lugares de la trama urbana de las zonas metropolitanas principalmente localizadas en climas templados por la existencia de lluvias en verano en México.

## METODOLOGÍA

### *Universo de estudio: Cerro de Coatepec*

La importancia de diseñar un sistema para la captación de agua pluvial y escurrimientos en el campus de Ciudad Universitaria (CU), de la UAEMEX en Toluca, Estado de México, obedece a que *a)* tiene una topografía adecuada; *b)* carece de un sistema recolector de agua pluvial a nivel general, y *c)* su tipología es equivalente a la de un fraccionamiento o residencial de carácter urbano. Esta elevación prominente de la ciudad de Toluca tiene una superficie de 367 650m<sup>2</sup>, aproximadamente, se trata de un ambiente natural del sistema denominado Sierra Morelos y no formaba parte de la infraestructura urbana, hasta 1962, año en que cambió su uso de suelo para desarrollar las actividades del Centro Universitario (Moreno, 2021).

Para José Isabel Juan (2016) es un espacio geográfico en donde las interacciones social y cultural han conformado un paisaje dinámico que forma parte del ecosistema urbano de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (Altiplano Central de México). La razón de analizar el campus universitario como ecosistema urbano se debe a que se caracteriza por ser un lugar conformado por componentes, procesos y funciones vinculados con aspectos naturales, sociales, educativos, culturales y administrativos.

Durante la época de lluvias son frecuentes los escurrimientos. En los ambientes de mayor altura tienen lugar infiltraciones que emanan en los afloramientos rocosos inferiores. Desafortunadamente, tanto el agua que circula de forma superficial, como la que emana en los afloramientos rocosos, no es aprovechada, lo que provoca inundaciones en las porciones bajas (Juan Pérez, 2016). Asimismo, Julio C. Hernández (2016), en referencia al Cerro de Coatepec, expone que

el componente suelo, está muy relacionado con el agua, desempeña múltiples funciones en el ecosistema. Es el sustrato donde ocurren los procesos ecológicos y donde se desarrolla la vida vegetal, animal y humana, por eso, es necesario ejecutar acciones que conduzcan al mejoramiento del ambiente [...] el cambio de ocupación de uso del suelo, circulación del agua sobre sustratos sin vegetación [...] están provocando la pérdida de suelos, remoción en masa y deslizamientos.

Con la construcción de un RWHS y embalse para captar el agua de lluvia y los escurrimientos superficiales de todo el perímetro del plantel universitario se puede lograr un uso de agua racional, ecológico y sustentable y, a su vez, reducir el flujo del agua, producto de las precipitaciones en los drenajes, lo que además mitigará las inundaciones que sufre la zona con cada tormenta en temporada de lluvias. La propuesta procura adecuarse a la topografía del terreno y respetar el ecosistema endémico.

## VARIABLES E INDICADORES

Las variables que se consideraron son: precipitación media anual, precipitación máxima diaria por periodos de retorno e intensidad máxima de precipitación, las que se representan en las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF).

La información pluviométrica utilizada procede de las mediciones hechas en las diferentes estaciones meteorológicas ubicadas en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT). En esta zona, delimitada por 16 municipios, se ubican un total de 41 estaciones meteorológicas (Conagua, 2020). Se debe destacar que solo 28 de estas estaciones se encuentran en operación, por lo que se seleccionó una muestra de 16 estaciones, los criterios de selección fueron los siguientes: *a*) ubicación en zona urbana o conurbada; *b*) estatus de operación o suspensión, y *c*) amplitud de registro en los últimos 25 años.

A la par, se hizo el levantamiento topográfico (curvas de nivel) del área de estudio.

## PROCEDIMIENTOS

Para el diseño del sistema de captación de agua pluvial y escurrimientos RWHS en el Cerro de Coatepec se siguió la metodología de Moreno, Estrada y Xendejas (2022), en la que se detallan las etapas o procesos de diseño, los requerimientos, variables, recopilación de información y planos cartográficos, los cálculos y comprobación para el dimensionamiento eficiente de los componentes del sistema.

La propuesta del sistema de captación de agua pluvial y escurrimientos RWHS en el Cerro de Coatepec, CU, Toluca, Estado de México, tiene cinco etapas:

- I) Revisión de literatura: se revisó bibliografía y artículos en revistas, así como libros y tesis relacionados con el tema.
- II) Determinación de los requerimientos de diseño conceptual del sistema de captación de agua pluvial y escurrimientos.
- III) Obtención y procesamiento de información: cálculo preliminar (dimensionamiento y selección) del sistema de captación de agua pluvial y escurrimientos.
- IV) Cálculo de comprobación: (análisis y simulación) del sistema de captación de agua pluvial y escurrimientos.
- V) Determinación de precios unitarios para el sistema de captación de agua pluvial y escurrimientos en CU, Toluca, Estado de México.

## RESULTADOS

### *Requerimientos de diseño*

- A) Intervenir lo mínimo posible en las áreas verdes del Cerro de Coatepec, con el objetivo de lograr un proyecto sustentable y cuidadoso con el medio ambiente.
- B) El RWHS del campus universitario puede ser una alternativa viable para paliar el déficit de agua en temporada de estiaje, mediante reservorios que serán llenados en época de lluvias, lo que a su vez fomenta el uso racional del recurso y el reconocimiento de su valor económico y estratégico.
- C) A partir del estudio hidrológico se proyectarán las estructuras y colectores pluviales necesarios para hacer una adecuada captación por gravedad y conducción del agua de lluvia y los escurrimientos, que serán canalizados hacia los cuerpos receptores de agua superficial donde se realizará el vertido final. Este se hará de acuerdo con los datos recopilados y la red existente de canales, drenes y cunetas distribuidos en toda la extensión del conjunto.
- D) La propuesta de captación de agua pluvial debe satisfacer las exigencias del campus universitario referentes a la recolección, transporte y evacuación durante un evento de precipitación. La escorrentía se debe reducir a un nivel adecuado conforme a la Norma Oficial Mexicana 015 (NOM, 2007)

para sectores urbanos, de tal forma, que haya un correcto tránsito vehicular y peatonal.

- E) Los caudales de aporte y capacidad de la cuenca se obtendrán a partir de las áreas de influencia y del periodo de retorno referido en el cálculo de la intensidad máxima.
- F) El sistema de captación se desarrollará en el circuito interior del campus universitario (Paseo Universidad), con el objeto de acopiar toda el agua pluvial posible y los escurrimientos (lluvia, granizo, heladas o niebla) provenientes de las pendientes del Cerro de Coatepec.
- G) No se incluirá el área correspondiente a las azoteas de las edificaciones, pues es conveniente que cada facultad o entidad administrativa dentro del campus, sea capaz de cosechar, filtrar y almacenar el agua de sus techos y utilizarla en los servicios internos como inodoros, mantenimiento, limpieza de las instalaciones y riego para jardines. Lo anterior representará un considerable aprovechamiento y ahorro de energía y del agua potable de uso diario.
- H) El traslado del agua captada se hará mediante conductos y rejillas trazadas en las vialidades, aceras y áreas pavimentadas. Estas serán encauzadas a través de una red de canales hasta su almacenaje.
- I) La cantidad de depósitos de almacenaje será la que resulte del estudio hidrológico, estarán convenientemente ubicados en las cotas inferiores del predio. Se sugiere para ello un área libre pavimentada como estacionamiento, área deportiva o plazoleta, que no se verá afectada en su funcionamiento, pues el depósito deberá ser de tipo soterrado; estos depósitos conectarán con una planta de tratamiento de agua.
- J) A la par se propone un embalse artificial que almacene agua potable (agua de lluvia tratada).
- K) De los depósitos de agua pluvial y del embalse, el agua se conducirá mediante rebombeo o gravedad según el cálculo correspondiente al pozo de infiltración.
- L) Por último, la realización del costo que representa la ejecución de este tipo de proyecto es de gran envergadura.

### Diseño conceptual

A partir de los requerimientos generales de diseño se concretó el esquema de diseño conceptual (véase figura 1). Toda el área sombreada corresponde a la superficie que será susceptible de captación de agua pluvial y escurrimientos.

### Zonificación y curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) de la precipitación

Para calcular las curvas de intensidad-duración-frecuencia se hizo una zonificación por el método de interpolación de Thiessen, que asigna a cada estación pluviométrica un peso proporcional a su área de influencia. Las variables que se obtuvieron (precipitación media anual, precipitación máxima diaria por periodos de retorno e intensidad máxima de precipitación) y las curvas IDF se consideran confiables y se pueden utilizar en toda el área que abarca la cuenca urbana de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (véase figura 2).

Figura 1. Esquema conceptual a partir de los requerimientos de diseño

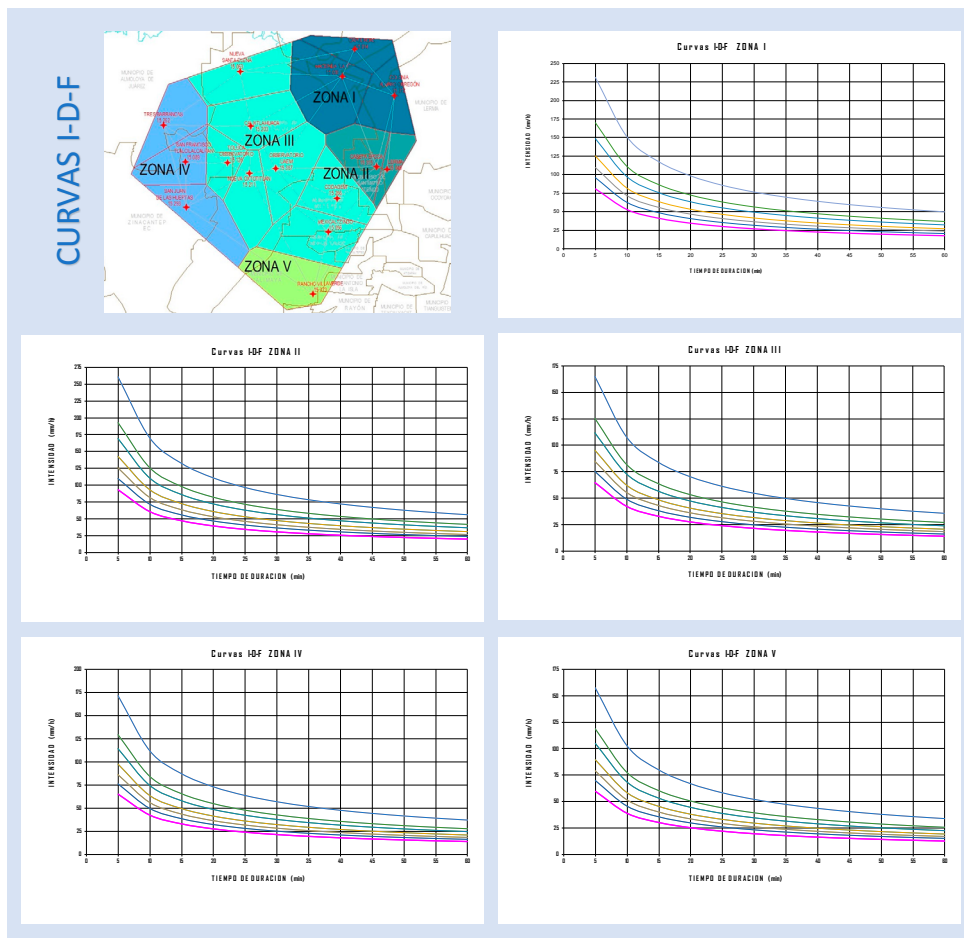


Fuente: Moreno, 2021.

## Levantamiento topográfico

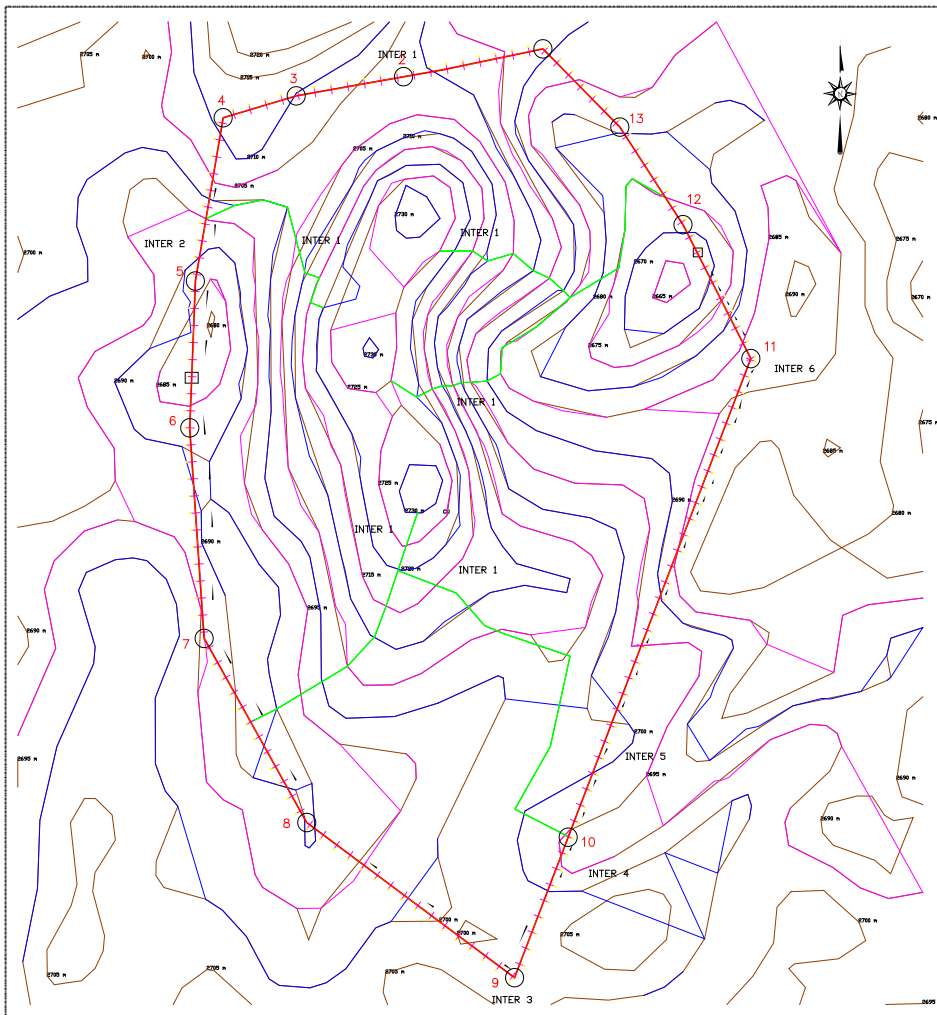
En la cartografía del levantamiento topográfico se muestran las curvas de nivel y la representación bidimensional de los accidentes del terreno, que comprende: *a)* levantamiento de poligonal cerrada y abierta; *b)* nivelación de perfil de la poligonal; *c)* levantamientos de detalle; *d)* levantamiento de red existente de alcantarillado; *e)* cálculo y elaboración de planos topográficos, y *f)* elaboración de planos de red existente (véase figura 3).

Figura 2. Curvas IDF de la muestra de estudio



Fuente: Moreno, 2021.

Figura 3. Mapa topográfico con curvas de relieve del sitio de estudio



Fuente: Moreno, 2021.

### *Determinación de los puntos de captación de los escurrimientos*

La planeación general del sistema de captación pluvial resultado de las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) y el mapa topográfico consisten en revisar

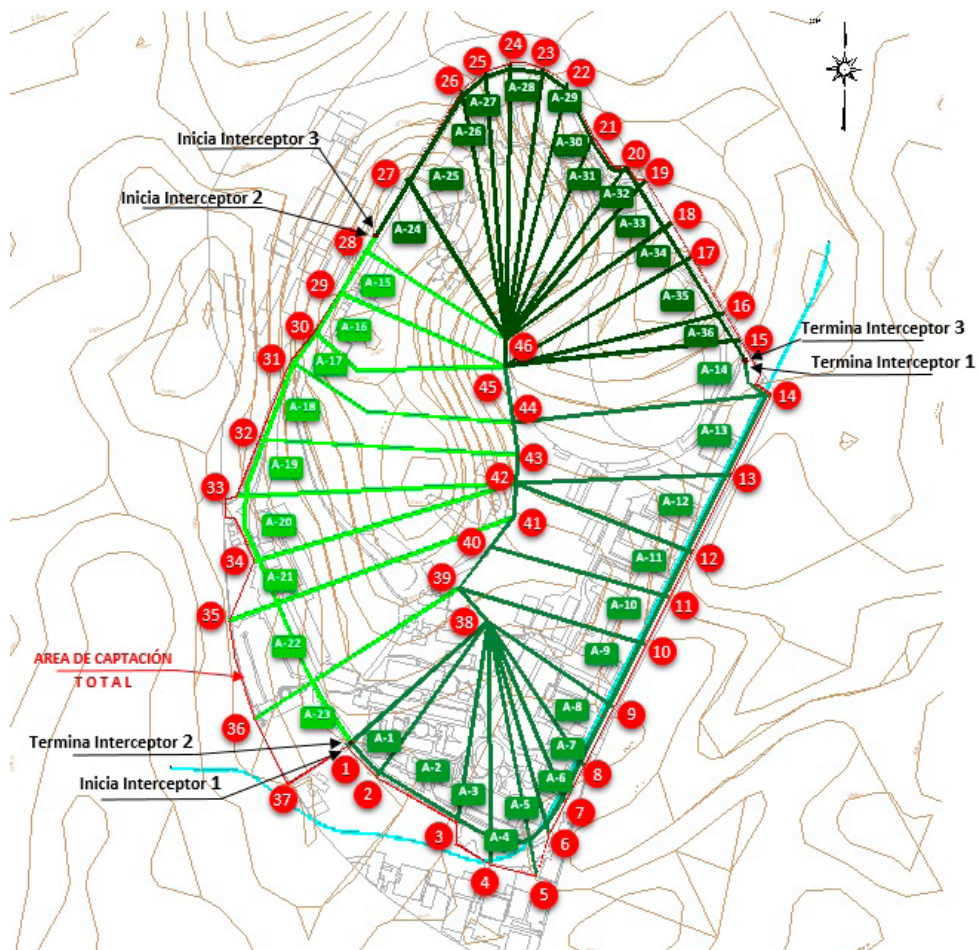
que no existan obstáculos en las trayectorias de las alternativas, así como definir los puntos de captación de los escurrimientos y obtener el área de aportación de cada tramo analizado. Se determinó la opción que más se ajusta a los requerimientos de sustentabilidad por su bajo impacto ambiental, así como por el costo y tiempo de ejecución de las obras que consiste en: *i*) recolectar parcialmente el agua pluvial al aprovechar los escurrimientos naturales, mediante las canales y drenes existentes, y *ii*) completar el esquema con canales a cielo abierto y solo construir colectores soterrados entre los espacios necesarios dentro del circuito interior del campus universitario (Paseo Universidad), con el objeto de mantener los humedales naturales existentes en la zona norte y sur poniente del predio.

### *Cálculo preliminar (dimensionamiento y selección)*

Al identificar los puntos críticos y las zonas de descarga para conseguir una adecuada captación resultaron tres interceptores definidos como: Interceptor 1, Interceptor 2 e Interceptor 3. Cada subdivisión del área permite calcular debidamente el flujo que facilita la concentración de las aguas en todo el circuito interior del campus, así como el diseño del resto de los componentes del sistema. La captación, como se ha explicado con anterioridad, se hace por las cunetas y drenes existentes (canales de tipo trapezoidal a cielo abierto) en el circuito (Paseo Universidad), excepto el Interceptor 3 que presenta un tramo soterrado (véase figura 4). Las pendientes consideradas para el diseño de las canalizaciones existentes a cielo abierto están en función de las pendientes naturales del terreno. Las áreas de aportación de cada interceptor y el área total, así como el cálculo hidráulico, aparecen en el cuadro 1.

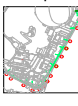


Las rejillas o bocas de tormenta se previeron en la conexión de los colectores subterráneos, desde el canal hasta el vertido final en los depósitos de almacenamiento; su ubicación es transversal a la calle o en los puntos críticos de los estacionamientos para recolectar el agua de toda el área pavimentada. Se propone colocar rejillas de drenaje pluvial de hierro dúctil, de gran durabilidad y alta resistencia a la corrosión, tienen un diseño muy eficaz para drenar el agua de lluvia, resisten tráfico pesado, son más ligeras que el hierro fundido y son de aspecto agradable. Se presentan en tramos de 1.00 m de longitud por 0.40 m de ancho.

Figura 4. Diagrama de cálculo del área de aportación (AC) al sistema de captación pluvial



Fuente: Moreno, 2021.

**Cuadro 1. Cálculo hidráulico del sistema de captación pluvial**

CÁLCULO HIDRÁULICO DE LOS INTERCEPTORES																				
INTERCEPTOR	TRAMO		COTAS		LONGITUD		PENDIENTE	ÁREAS		TIEMPO de Recorrido		TIEMPO de Concentración	GASTO Pluvial	ALMACENAMIENTO		GASTO Acumulado	DIAMETRO de Tubo	VELOCIDAD de Tubo lleno	GASTO a Tubo lleno	TRANTE
	Inicio	Final	Inicio	Final	L	S		Tributaria (Ha)	Acumulada (Ha)	t <sub>r</sub> (min)	t <sub>c</sub> (min)			Tramo (m <sup>2</sup> /seg)	Acumulado (m <sup>3</sup> )					
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(%)	(Ha)	(Ha)	(min)	(min)	(m <sup>2</sup> /seg)	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>4</sup> /seg)	(m)	(m/seg)	(m <sup>3</sup> /seg)	(cm)	(cm)		
	1	2	2.699.00	2.698.00	51.923	0.083	0.436	0.436	0.39	6.9	0.052	120	120	0.003	0.45	3.60	0.57	0.09		
	2	3	2.698.00	2.697.00	93.052	0.007	0.965	1.400	0.62	73	0.162	5.93	713	0.016	0.45	2.88	0.43	0.9		
	3	4	2.697.00	2.696.00	275.505	0.0268	0.477	1.877	0.17	79	0.206	1.95	9.08	0.06	0.45	4.23	0.87	0.16		
	4	5	2.696.00	2.695.50	415.289	0.020	0.600	2.477	0.24	81	0.289	3.56	12.84	0.026	0.45	2.84	0.45	0.24		
	5	6	2.695.50	2.695.00	231.995	0.027	0.289	2.766	0.0	8.3	0.295	1.67	14.31	0.029	0.45	3.81	0.81	0.21		
	6	7	2.695.00	2.694.50	34.840	0.044	0.295	3.061	0.6	8.4	0.324	3.12	17.43	0.035	0.45	3.1	0.49	0.25		
	7	8	2.694.50	2.694.00	39.482	0.027	0.331	3.391	0.28	37.0	0.147	1.83	18.26	0.009	0.45	2.91	0.46	0.15		
	8	9	2.694.00	2.693.50	85.306	0.077	0.545	3.936	0.52	37.3	0.170	4.96	24.22	0.01	0.76	3.21	1.46	0.17		
	9	10	2.693.50	2.693.00	70.523	0.074	0.825	4.761	0.54	37.8	0.203	6.26	30.48	0.03	0.76	3.09	1.40	0.19		
	10	11	2.693.00	2.689.00	54.2342	0.0369	1.048	5.809	0.22	38.3	0.246	3.06	33.53	0.016	0.76	7.05	3.20	0.14		
	11	12	2.689.00	2.690.50	91.933	0.0096	1.87	6.976	0.32	38.6	0.294	5.32	38.85	0.07	0.76	3.60	1.63	0.21		
	12	13	2.690.50	2.690.00	87.821	0.0057	0.896	7.872	0.64	38.9	0.330	1.81	50.66	0.022	0.76	2.77	1.26	0.26		
	13	14	2.690.00	2.689.00	91.340	0.009	1.75	9.626	0.50	39.5	0.400	1.07	61.74	0.026	0.76	3.84	1.74	0.24		
	14	15	2.689.00	2.688.00	33.793	0.0296	1.54	11.67	0.12	40.0	0.461	3.81	64.92	0.027	0.76	6.32	2.87	0.20		
					776.07			11.17												
	28	29	2.700.00	2.708.50	62.3022	0.024	0.694	0.694	0.38	6.9	0.083	1.96	1.96	0.005	0.45	4.02	0.84	0.11		
	29	30	2.708.50	2.708.00	48.4044	0.001	0.769	1.463	0.34	7.2	0.169	3.28	5.3	0.02	0.45	2.60	0.4	0.20		
	30	31	2.708.00	2.707.50	38.9785	0.028	0.13	1.566	0.24	7.6	0.176	2.38	7.52	0.07	0.45	2.93	0.47	0.18		
	31	32	2.707.50	2.702.00	83.5565	0.0658	0.43	2.709	0.25	7.8	0.289	4.4	11.66	0.025	0.45	6.84	1.06	0.16		
	32	33	2.702.00	2.700.00	60.8362	0.065	1.251	3.960	0.28	8.1	0.429	6.69	18.35	0.038	0.45	3.33	0.53	0.29		
	33	34	2.700.00	2.700.00	68.167	0.047	1.037	4.997	0.32	8.3	0.531	9.38	27.72	0.055	0.45	3.4	0.50	0.36		
	34	35	2.700.00	2.699.70	48.138	0.0062	1.253	6.250	0.37	37.0	0.270	4.7	32.43	0.016	0.45	2.04	0.33	0.27		
	35	36	2.699.70	2.699.30	88.042	0.0046	2.087	8.336	0.68	37.4	0.358	13.88	46.31	0.021	0.76	2.48	1.2	0.29		
	36	1	2.699.30	2.699.00	81.8951	0.0037	2.087	10.423	0.65	38.0	0.443	16.13	62.44	0.027	0.76	2.22	1.01	0.34		
					581.16			10.42												
		28	27	2.700.00	2.700.00	69.484	0.044	0.768	0.768	0.48	6.9	0.082	2.64	2.64	0.006	0.45	3.11	0.49	0.13	
		27	26	2.700.00	2.704.00	61.8995	0.0589	0.943	1.71	0.35	7.4	0.166	3.95	6.69	0.016	0.45	6.28	1.00	0.13	
		26	25	2.704.00	2.703.00	29.5292	0.0339	0.362	2.073	0.12	7.7	0.231	1.53	8.13	0.018	0.45	4.77	0.76	0.16	
		25	24	2.703.00	2.700.00	25.9161	0.072	0.378	2.453	0.08	7.8	0.271	1.12	9.25	0.020	0.45	7.18	1.14	0.14	
		24	23	2.700.00	2.697.00	33.2423	0.023	0.504	2.957	0.08	7.9	0.324	1.41	10.66	0.022	0.45	8.98	1.43	0.14	
23		22	2.697.00	2.694.50	30.0248	0.0833	0.378	3.336	0.08	8.0	0.364	1.58	12.25	0.026	0.45	7.47	1.19	0.16		
22		21	2.694.50	2.691.00	55.6205	0.0627	0.531	3.867	0.20	37.0	0.167	1.74	13.88	0.006	0.45	6.48	1.03	0.11		
21		20	2.691.00	2.690.00	44.0367	0.0227	0.482	4.348	0.23	37.2	0.187	2.42	16.40	0.007	0.76	5.53	2.51	0.14		
20		19	2.690.00	2.689.50	275.747	0.061	0.268	4.617	0.15	37.4	0.188	1.73	18.12	0.008	0.76	4.94	2.24	0.15		
19		18	2.689.50	2.689.00	47.8201	0.0015	0.682	5.298	0.31	37.6	0.227	3.97	22.10	0.01	0.76	3.75	1.70	0.18		
18		17	2.689.00	2.688.70	38.8895	0.0077	0.682	5.880	0.27	37.9	0.255	3.98	26.08	0.01	0.76	3.23	1.46	0.21		
17		16	2.688.70	2.688.50	65.6331	0.0030	0.360	6.340	0.63	38.2	0.269	9.59	35.67	0.016	0.76	2.03	0.92	0.27		
16		15	2.688.50	2.688.30	30.4868	0.0066	0.360	6.700	0.22	38.8	0.282	3.50	39.16	0.017	0.76	2.97	1.35	0.23		
					601.35			6.70												

Fuente: Moreno, 2021.

Una vez hecho el cálculo del volumen de agua máximo y los colectores que transportan el agua hasta los vertidos parcial y final, respectivamente, se procedió a calcular el tamaño de los depósitos soterrados. Estos depósitos tienen la finalidad de almacenar el agua para su utilización posterior, así como ser un atenuante temporal en una precipitación extrema, antes de que el agua penetre al pozo de infiltración para la recarga del acuífero. El primer depósito corresponde al vertido final, se ubica en el estacionamiento del Estadio Universitario y será apoyo del Interceptor 1, y el segundo se ubicará en el estacionamiento que tiene su entrada por Paseo Tollocan y servirá de apoyo al Interceptor 2.

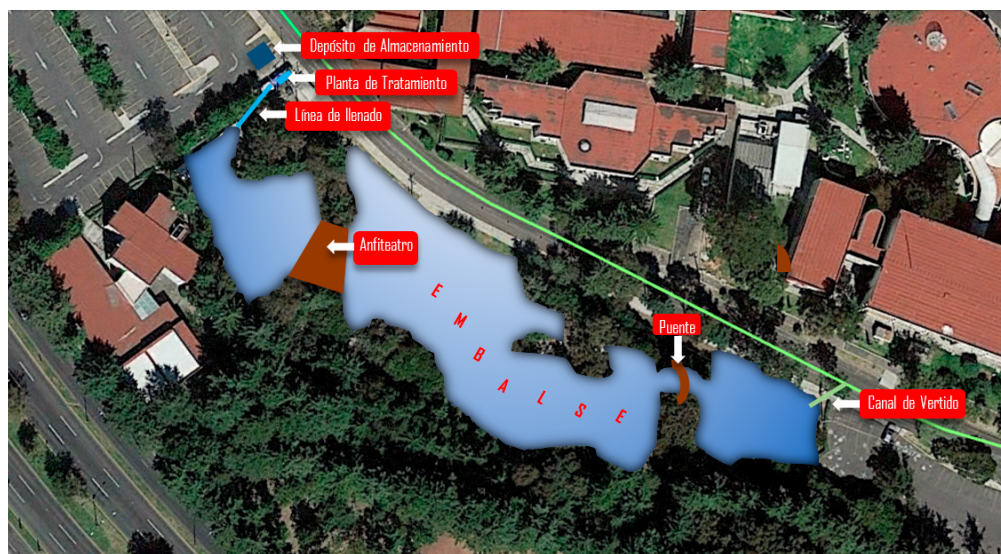
Cada uno de los depósitos tendrá una capacidad de almacenamiento de  $108 \text{ m}^3$ , se alimentarán por gravedad a través de un subcolector soterrado de PEAD, que a su vez parte de una cámara de recolección o boca de tormentas en el extremo del canal superficial. El depósito 1, junto al nodo número 15 y el depósito 2 junto al nodo número 1. Ambos funcionarán como reserva de líquido para uso en actividades no potables, como mantenimiento de áreas verdes, limpieza y sanitarios, cada uno tiene un sistema electromecánico de rebombeo de 10 HP para elevar el agua. El excedente del depósito 1 será conducido directamente al pozo de infiltración y el del depósito 2 hacia el interceptor 1 para su vertido final en el pozo, que dirige el agua hasta el manto freático. El desvío del depósito 2 hacia el interceptor 1 será menos frecuente, pues junto a este depósito 2 se ubica la planta de tratamiento, que es la encargada de filtrar el agua para rellenar el embalse artificial y, a su vez, de potabilizar el agua en su caso.

El pozo de infiltración que se propone en este trabajo tiene un diámetro de 0.30 m y una profundidad de 67 m para una capacidad de, aproximadamente, 100 L/s. El agua recolectada es depurada mediante tres tratamientos previos a la infiltración, que son 1) retención de sólidos gruesos y sedimentos, 2) retención de grasas y aceites, y 3) reducción de sólidos suspendidos totales, nutrientes y coliformes fecales, todo ello para evitar pasar contaminantes a las aguas subterráneas.

Además, se propone una planta de tratamiento con una capacidad de 60 a 90 L/min (1 a 1.3 L/s) que funciona por cavitación, este medio desincorpora totalmente partículas y químicos contenidos en el agua. El agua resultante está potabilizada y es óptima para el uso humano, por lo que la propuesta de trabajo de esta planta es utilizar el agua almacenada provisionalmente en el depósito de almacenamiento 2 para mantener limpia el agua del embalse artificial, así como proveer de agua potable en tiempo de lluvia a las instalaciones de la institución universitaria, lo cual beneficia la gestión de agua potable de calidad a la entidad encargada de proveer el servicio.

El dimensionamiento del embalse se hizo conforme a la metodología de diseño, el resultado arrojó las siguientes medidas: perímetro = 492.00 metros lineales; área =  $3\,035.00 \text{ metros}^2$ , y volumen =  $3\,650.00 \text{ metros}^3$ . La profundidad promedio es de 1.20 m, todo el perímetro con una franja de 1.50 m tiene una profundidad de 60 cm para evitar posibles accidentes, mientras que en el centro alcanza un máximo de 2.20 m. El canal de vertido de venidas extraordinarias se presenta soterrado, pues atraviesa la calle y se conecta con el flujo del Interceptor 3. Entre los elementos funcionales y recreacionales que se le añadieron está un auditorio y un puente peatonal (de estos elementos no se estimó precio de construcción) (véase figura 5).

Figura 5. Esquema de embalse artificial de agua limpia



Fuente: Moreno, 2021.

### *Cálculo de comprobación (análisis y simulación)*

A partir del dimensionamiento de todos los componentes se comprobó que son confiables y con ello se evitarán posibles contingencias. Para la comprobación se hizo un análisis hidráulico de los elementos que siguió dos enfoques: *a)* el volumen requerido para drenar toda la subcuenca y *b)* el espacio disponible. El volumen requerido es la diferencia entre los volúmenes de entrada y de salida mediante el método volumétrico. El espacio disponible se da entre el diseño y la capacidad de regulación. En este caso se hizo un hidrograma de entrada y se comprobó que el hidrograma de salida cumple con la misma condición.

Posteriormente, se hizo un balance del agua que ingresó a los depósitos de almacenamiento y el agua que sale de ellos, para lo que se utilizó el coeficiente de regulación. El modelo de simulación desarrolló lo siguiente: intervalos de tiempo desde el comienzo de llenado de los depósitos, valores de gasto de entrada a depósitos mientras ocurre la tormenta, valores de salida propuestos mientras ocurre la tormenta, volumen de ingreso durante el intervalo de tiempo y volumen de salida durante el intervalo de tiempo.

*Costos para su implementación*

Se presentó el catálogo de conceptos detallado para todo el sistema de captación de agua pluvial en el sitio de estudio, de lo cual se podrán deducir indicadores por metro cuadrado de construcción para compararlos con otros sistemas de captación de agua. Los precios unitarios de los conceptos de trabajo están expresados en moneda nacional. El cuadro 2 resume los costos por unidades de obra.

**Cuadro 2. Resumen por unidades de obra**

RESUMEN DE OBRA DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUAS PLUVIALES, CU, TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO					
	Unidades de obra	UM	Cantidad	PU	Importe
I	Construcción de depósito soterrado, capacidad = 10	Pza	2.00	311 818.08	622 636.16
II	Equipo electromecánico para bombeo de agua pluvial	Pza	2.00	37 600.00	76 200.00
III	Construcción de pozo de infiltración de agua pluvial	Pza	1.00	592 465.00	692 466.00
IV	Construcción de colector soterrado con rejilla pluvial	Pza	1.00	3 007 286.30	3 007 286.30
V	Construcción de embalse artificial con recubrimiento de geomembrana de PVC de 1.2”	Pza	1.00	1 746 030.97	1 746 030.97
VI	Planta de tratamiento de agua pluvial	Pza	1.00	357 000.00	367 000.00
Gran total					6 401 618.42

Fuente: Moreno, 2021.

## CONSIDERACIONES FINALES

Con fundamento en esta investigación fue posible implementar la metodología de Moreno, Estrada y Xendejas (2022) para el diseño de sistemas de captación de agua pluvial que incluye el embalse artificial, que almacenará una cantidad de 3 035 m<sup>3</sup> de agua limpia proveniente de las precipitaciones, que puede ser utilizada para diversos fines dentro de la institución universitaria. De igual forma fue posible diseñar el resto de los componentes del sistema, que hacen posible una captación adecuada del agua, y que provienen de las precipitaciones y los escurrimientos de todo el Cerro de Coatepec.

Los requerimientos generales de diseño conceptual propuestos en el esquema conceptual se cubren debido a la metodología desarrollada para el diseño de los sistemas de captación de agua pluvial y los embalses de almacenamiento. En este aspecto se presentaron las alternativas posibles, de las que se decidió por la variante más racional para proteger los ecosistemas, reducir costos y tiempos de ejecución. Previo al diseño conceptual fue necesario hacer una recopilación de datos hidrometeorológicos del sitio de estudio, que culminó con la elaboración de los parámetros y curvas de intensidad-duración y frecuencia, mismos que son útiles para cualquier diseño hidráulico en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

Este sistema de captación y tratamiento de agua resulta un paliativo para las inundaciones recurrentes en esta área, toda vez que evita se sature el sistema de drenaje de la ciudad; además se logra incrementar la eficiencia del uso de agua de lluvia y se fomenta la cultura de conservación y uso óptimo del agua, lo que mejora el equilibrio hidrológico de la cuenca del río Lerma.

Se recomienda fortalecer esta investigación incluyendo otras temáticas de tipo geográfico, como los tipos de suelos, tipos de rocas, entre otros.

## REFERENCIAS

- Campos Aranda, D. F. (1999). Hidrosistemas urbanos. Conceptos básicos crecientes y planicies de inundación. *Ciencia y Desarrollo* 25(145), pp. 49-57.
- Conagua, 2020. Datos abiertos de la Comisión Nacional del Agua. [En línea.] <https://datos.gob.mx/busca/dataset/precipitacion-actual-y-acumulada-por-estacion>

- Hernández Romero, J. C. (2016). Propuesta de manejo sustentable de los espacios verdes (cubierta vegetal) para el bienestar en Ciudad Universitaria, Cerro de Coatepec, Universidad Autónoma del Estado de México. [Tesis para obtener el grado de Maestro en Estudios Sustentables, Regionales y Metropolitanos.] UAEMEX.
- Juan Pérez, J. I. (2016). Análisis del espacio geográfico y el paisaje de un campus universitario mexicano. Cerro de Coatepec, Universidad Autónoma del Estado de México. *Terra Nueva Etapa xxxii*(52), pp. 71-102.
- Moreno, M. T., Estrada, R. y Xendejas, V. (2022). Metodología para el diseño de los sistemas de captación pluvial en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. *Retos del espacio habitable, sostenible y la movilidad*. UAEMEX, p. 206.
- Moreno, S. M. (2021). *Embalses para captación de agua pluvial y escurrimientos. Su aplicación en campus CU, Toluca, Estado de México*. [Tesis para obtener grado de Maestría en Estudios Sustentables, Regionales y Metropolitanos.] UAEMEX.
- NOM. (2007). Norma Oficial Mexicana NOM-015. Infiltración artificial de agua a los acuíferos. Características y especificaciones de las obras y del agua. Semarnat.
- ONU (2010). *Día Mundial del Agua 2010. Agua limpia para un mundo sano. Informe final*. ONU, p. 53.



# ANÁLISIS DE TRANSICIÓN DE CATEGORÍAS CLIMÁTICAS KÖPPEN-GARCÍA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SILA

Raquel Segundo Sandoval  
Luis Ricardo Manzano Solís  
Roberto Franco Plata  
Víctor Hugo Guerra Cobián

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático se define como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables” (IPCC, 2018).

A diferencia del cambio climático, la variabilidad climática se define como las variaciones en el estado medio del clima, dicho término se utiliza para indicar las desviaciones de las estadísticas climáticas durante un periodo de tiempo determinado (por ejemplo, un mes, una estación o un año), en comparación con las estadísticas a largo plazo para el mismo periodo de calendario (OMM, 2022).

Según el Quinto Informe de Evaluación (2013) del IPCC, la temperatura en superficie podría aumentar de 2.1 °C a 6.1 °C para el año 2100. Como consecuencia, el ciclo hidrológico se modificaría, ya que su movimiento se debe fundamentalmente a la energía que proporciona el sol para elevar el agua (evaporación) y a la gravedad terrestre que hace que el agua evaporada descienda en forma de precipitación (lluvia o nevadas). Esta modificación alteraría la disponibilidad de agua, ya que el clima regula de forma natural el incremento y/o disminución de esta; razón por la que el clima debe ser estudiado con el propósito de generar información que permita planificar el aprovechamiento sustentable del agua.

De acuerdo con el Programa Especial de Cambio Climático de México 2014-2018, el país tiene las características geográficas que lo sitúan como uno de los países más vulnerables a los efectos del cambio climático; sin embargo, ni la variabilidad

climática ni el cambio climático tienen un comportamiento uniforme sobre el territorio y, más bien, estos se diferencian según las condiciones locales de cada región, por tal motivo este estudio se hizo a nivel subcuena.

La subcuena del río Sila, Estado de México, funge como fuente de abastecimiento de agua potable principalmente para la Ciudad de México (con 63 pozos para uso público urbano y 91 pozos para diferentes usos) y para la región, que debido al crecimiento constante de la población demanda una mayor cantidad de agua. A lo anterior se suma el hecho de que los pobladores de la subcuena tienen la percepción de que la precipitación ha disminuido en años recientes (BRIO Agropecuario, 2020), lo que ha causado afectaciones en los cultivos de maíz de los que depende la población de habla indígena concentrada en el valle. Tan solo hay que recordar que la agricultura es la actividad que más estrés hídrico genera en México, seguida por el consumo doméstico y la actividad industrial (WRI, 2019).

Tomando en cuenta dichos aspectos, y considerando que hasta este momento no se han realizado estudios de variabilidad climática en la subcuena de río Sila o de posibles consecuencias ante el cambio climático, se vuelve indispensable generar información que sirva como fundamento para el análisis e interpretación de los escenarios de cambio climático y para las decisiones que se puedan tomar a partir de ellos.

Con base en lo anterior, el objetivo de la investigación que aquí se presenta fue procesar los datos diarios de precipitación y temperatura de 1956 a 2015 de las estaciones que se localizan dentro y en los alrededores de la subcuena del río Sila, Estado de México, para hacer la clasificación climática de Köppen modificada por García (en adelante denominada Köppen-García) de dos periodos de 30 años, el primero de 1956 a 1985 y el segundo de 1986 a 2015, con el propósito de analizar las transiciones y/o persistencias de un periodo a otro, tal y como lo recomiendan Ngoma *et al.* (2021) y Wang *et al.* (2015); la clasificación climática de Köppen-García es un método de uso común en la academia y el gobierno de México (Ruiz-Corral *et al.*, 2021; Ruiz *et al.*, 2012; Sánchez Santillán *et al.*, 2018).

## ANTECEDENTES

De acuerdo con la bibliografía revisada, algunas investigaciones señalan una disminución en la disponibilidad futura del agua a causa del cambio climático (Asitatiek y Gebeyehu, 2021; Boru *et al.*, 2019; González-Celda *et al.*, 2021; Nandi y Manne, 2020; Nonki *et al.*, 2019; Pandey *et al.*, 2019). En cambio, es menor la cantidad de investigaciones que expresan que dicha disponibilidad incrementaría bajo condiciones de cambio climático (Minga, 2018; Pilares *et al.*, 2018; Serur y Sarma, 2018). Para el caso de México, también se presenta este contraste en cuanto a la disponibilidad de agua esperada para el futuro, por ejemplo, López-García *et al.* (2017) estima una disminución en la región norte del país, mientras que Deng *et al.* (2020) y Vázquez-Ochoa *et al.* (2021) infieren un incremento en el centro y norte del país.

De manera general el incremento de la disponibilidad de agua se asocia directamente con un aumento de la precipitación que podría derivar en escurrimientos extraordinarios, mismos que algunos autores (Deng *et al.*, 2020; Minga, 2018; Pilares *et al.*, 2018; Serur y Sarma, 2018; Vázquez-Ochoa *et al.*, 2021) interpretan como posibles riesgos futuros que habrá que considerar. Por otra parte, la disminución de esta generaría veranos más secos con posibles riesgos de sequías.

Las experiencias de los trabajos previos aquí presentados ofrecen un contexto para asociarlos a la posible condición futura de la subcuenca del río Sila debido a las condiciones de cambio climático.

## MARCO TEÓRICO

El marco teórico de esta investigación se fundamenta desde los distintos enfoques de la Geografía, que permiten cumplir con su objetivo de investigación al analizar el espacio de manera integrada. Por un lado, la Geografía física permite analizar e interrelacionar las características físicas del área de estudio, la Geografía sistémica, conectar los aspectos físicos y sociales pasados, actuales y futuros; la Geografía cuantitativa proporciona los métodos y las técnicas para hacer el análisis, el procesamiento de los datos y la verificación y validación de los resultados obtenidos; la Geografía ambiental define el propósito de esta investigación para la gestión sostenible del recurso hídrico y la Geografía automatizada

brinda las herramientas necesarias para el análisis de los datos que se procesarán en cada una de las etapas de investigación, que se resumen en la tabla 1.

**Tabla 1. Aplicación de los enfoques geográficos abordados en la presente investigación**

ENFOQUE	ESPACIO GEOGRÁFICO	APLICACIÓN	APORTE
Geografía física	Explica la ubicación, causas e interrelación de los hechos y fenómenos físicos	Caracterizar la zona de estudio desde la climatología y sus implicaciones en los procesos hidrológicos de la subcuenca	Zona de estudio
Geografía sistémica	Aborda el espacio geográfico como un sistema	Describir el territorio como un sistema, sus componentes y relaciones e interacciones para comprender mejor cómo gestionar el territorio (desde los componentes hasta el todo)	Visión
Geografía cuantitativa	Concibe el espacio geográfico como un sistema organizador de datos espaciales	Ofrecer métodos y técnicas para validar los análisis y sus resultados, así como para determinar el grado de certidumbre en la toma de decisiones	Validez y certidumbre

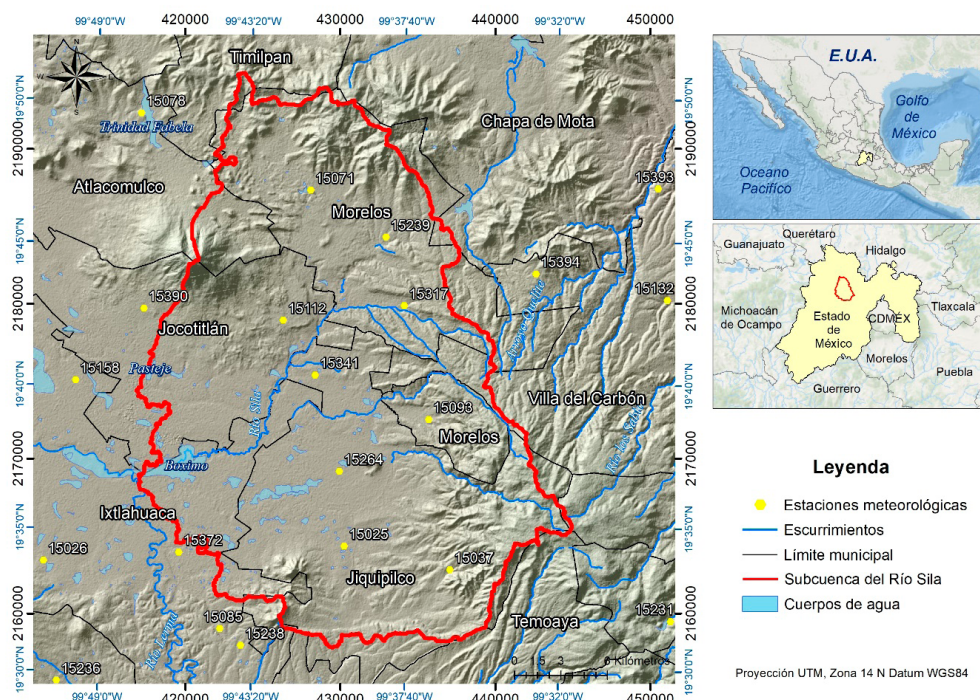
ENFOQUE	ESPACIO GEOGRÁFICO	APLICACIÓN	APORTE
Geografía ambiental	Concibe el espacio geográfico como el conjunto de valores sociales y culturales existentes en un lugar y en un momento determinado que influyen en la vida del ser humano y en las generaciones venideras	Buscar la sostenibilidad de los recursos hídricos	Propósito
Geografía automatizada	Concibe el espacio geográfico como una matriz de datos organizados en puntos y nodos relacionados, crea el mundo real a partir de un modelo digital	Generar representaciones visuales del territorio para su análisis, comprensión y experimentación	Herramienta

Fuente: elaboración propia con base en Edin, 2014.

## MATERIAL Y MÉTODO

La subcuenca del río Sila abarca una superficie de 637.87 km<sup>2</sup> entre los municipios de Jocotitlán, Morelos, Ixtlahuaca y Jiquipilco, que se ubican en la Región Mazahua del Estado de México, al noroeste de la Ciudad de México (véase figura 1).

Figura 1. Ubicación del área de estudio



La primera parte de esta investigación consistió en la obtención de datos diarios de precipitación (en milímetros) y temperatura (en grados Celsius) del periodo 1956-2015 de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la subcuenca y a sus alrededores. Dichos datos fueron obtenidos del Sistema Clicom (CICESE, 2015) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y se procesaron considerando los criterios de suficiencia que recomienda la OMM, con el propósito de obtener datos mensuales de precipitación, temperatura máxima y mínima. La temperatura media se obtuvo promediando las temperaturas mínima y máxima de acuerdo con la recomendación de la OMM (2018). Posteriormente, los datos puntuales de las estaciones se interpolaron con el software *anuSplin* para generar imágenes mensuales de superficie continua, aplicando el método *spline* de placa delgada, que ajusta los parámetros de suavizado a las coordenadas de longitud, latitud y elevación del espacio geográfico. Este método emplea la siguiente ecuación:

$$z_i = f(x_i) + b^T y_i + e_i \quad (i = 1, \dots, N) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$x_i$  = un vector d-dimensional de *spline* de variables independientes

$f$  = una función suave desconocida de  $x_i$

$y_i$  = un vector p-dimensional de covariables independientes

$b^T$  = un vector desconocido p-dimensional de coeficientes de  $y_i$

$e_i$  = un término independiente de error medio cero

Para hacer la interpolación, dicho programa requiere datos de latitud, longitud y elevación de cada estación a procesar. Los datos de latitud y longitud se obtuvieron de la base de datos del CLICOM para cada una de las estaciones empleadas, mientras que los datos de elevación se obtuvieron del modelo numérico de altitud, tal y como lo recomiendan Hutchinson y Xu (2013). Se tomó como resolución base la que correspondía al modelo numérico de altitud obtenido del proyecto SRTM del Servicio Geológico de los Estado Unidos (USGS, por sus siglas en inglés), que se aproximaba a los 30 metros.

El proceso de obtener las elevaciones se automatizó con el lenguaje de programación Object Pascal en Lazarus y procesos de análisis espacial en TerrSet. De forma adicional, se aprovechó dicha automatización para generar los archivos anuales de entrada que requiere ANUSplin para procesar cada elemento climático (precipitación y temperatura). Cada archivo contiene, por cada estación y año, un identificador, longitud, latitud, elevación y datos de los 12 meses del año para la interpolación.

Los resultados fueron 720 capas ráster, una por cada mes y por cada uno de los elementos del clima del periodo 1956-2015 (precipitación mensual y temperatura media mensual). Después, se promediaron los valores de cada mes para dos periodos de 30 años, el primero fue de 1956 a 1985 y el segundo de 1986 a 2015. De esta forma se obtuvieron 12 capas mensuales para cada uno de estos periodos y elementos climáticos, mismas que representaron la condición media de 30 años de cada uno.

Finalmente, se hizo la clasificación climática para cada uno de los periodos considerados, empleando el método de Köppen-García. La razón de utilizar dicho método obedece a que es de uso común en la academia y en el gobierno de México

(Ruiz-Corral *et al.*, 2021; Ruiz *et al.*, 2012; Sánchez Santillán *et al.*, 2018) (también se le conoce como “clasificación climática de Köppen modificado por Enriqueta García”), por lo que sería más fácil su comparación con estudios similares, cercanos o que incluyan a la zona de estudio.

La clasificación climática Köppen-García se hizo en TerrSet usando el módulo de Manzano-Solís *et al.* (2018), dicho método clasifica la temperatura media mensual para obtener el régimen térmico (primera letra del clima) y la oscilación térmica, a la par, procesa la precipitación mensual para obtener el régimen de humedad, su estacionalidad y la presencia de sequía intraestival. Posteriormente, cada clasificación climática se analizó empleando la herramienta de tabulación cruzada de TerrSet, con la finalidad de identificar zonas de la subcuenca con transiciones y persistencias en las categorías climáticas entre el primer periodo de 30 años y el segundo, también de 30 años. Con estos resultados fue posible caracterizar las transiciones más significativas.

## RESULTADOS

Los resultados de la clasificación climática de Köppen-García muestran que la condición térmica templado (*clima C*) ha prevalecido en los dos periodos analizados en la totalidad de la subcuenca. Lo mismo ocurre con la condición de humedad en cuanto al régimen de lluvias, siendo este subhúmedo con régimen de lluvias en verano (*w*) en toda la subcuenca y en ambos periodos (véanse figuras 3 y 4). La tabla 2 muestra el significado de cada uno de los símbolos climáticos de la figura 3; lo mismo sucede con la tabla 3, respecto a la figura 4.

Figura 2. Clasificación climática de Köppen-García del periodo 1956-1985

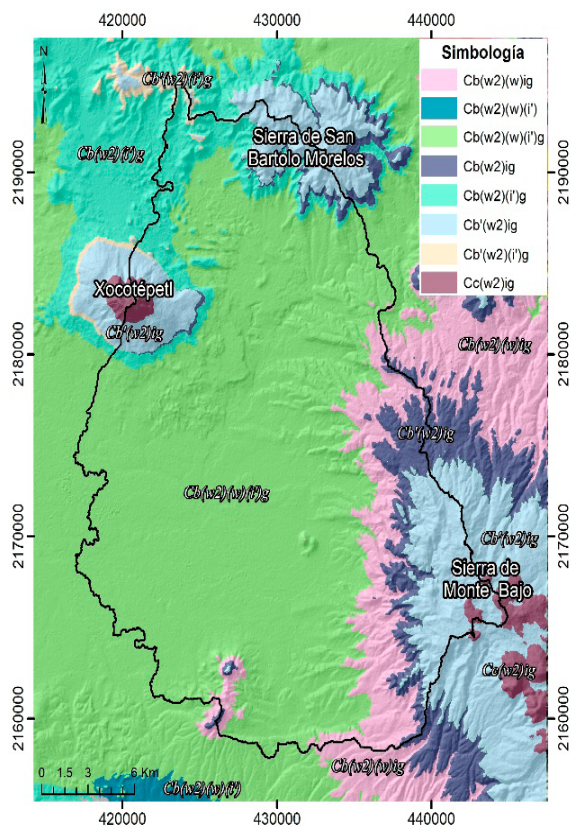
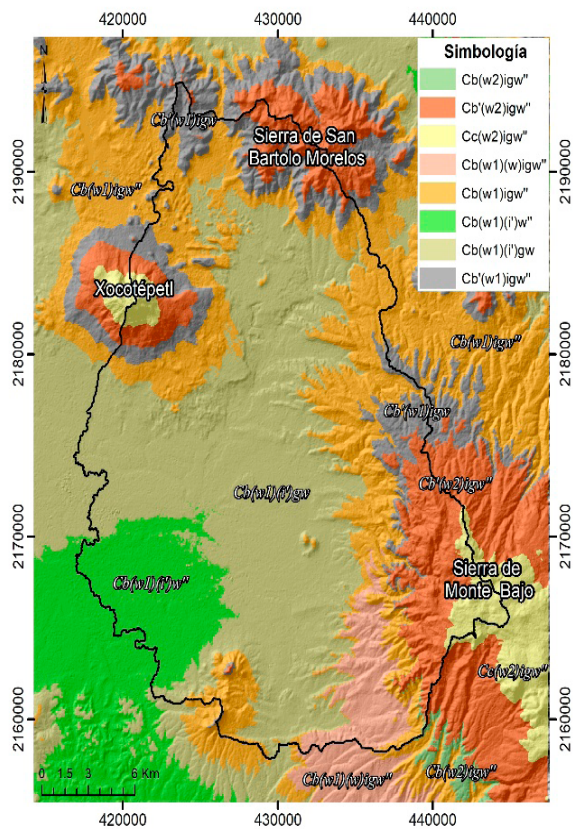


Figura 3. Clasificación climática de Köppen-García del periodo 1986-2015



**Tabla 2. Significado del símbolo climático de la clasificación climática de Köppen-García del periodo 1956-1985**

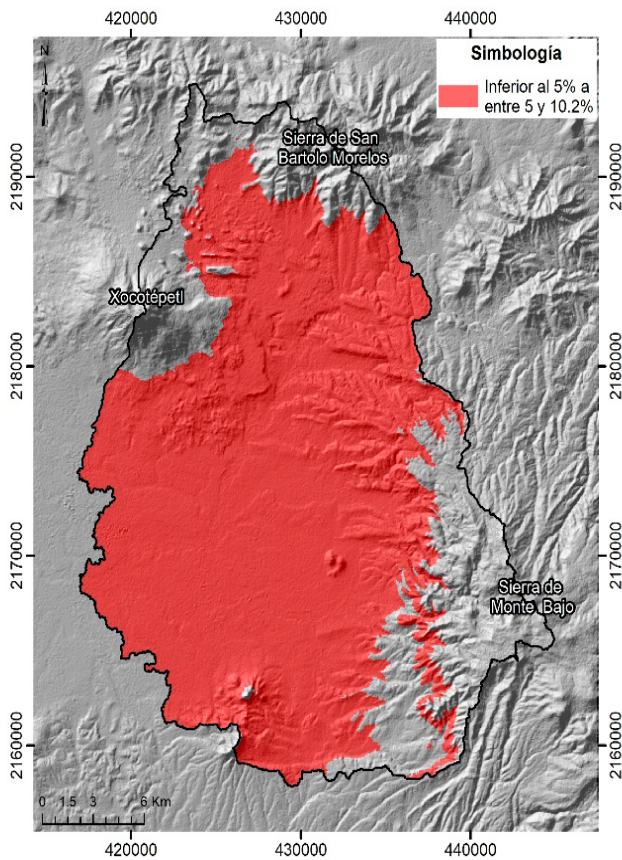
SÍMBOLO CLIMÁTICO	CONDICIÓN TÉRMICA	CONDICIÓN DE PRECIPITACIÓN	OSCILACIÓN TÉRMICA	SEQUÍA INTRAESTIVAL
<i>Cb(w2)(w)ig</i>	Templado	Subhúmedo con régimen de lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal inferior al 5%	Isotermal	Sin sequía intraestival
<i>Cb(w2)(w)(i')g</i>	Templado		Con poca oscilación térmica	
<i>Cb(w2)(w)(i')g</i>	Templado		Con poca oscilación térmica	
<i>Cb(w2)ig</i>	Templado	Subhúmedo con régimen de lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal entre el 5 y el 10.2%	Isotermal	
<i>Cb(w2)(i')g</i>	Templado		Con poca oscilación térmica	
<i>Cb'(w2)ig</i>	Templado		Isotermal	
<i>Cb'(w2)(i')g</i>	Templado		Con poca oscilación térmica	
<i>Cc(w2)ig</i>	Templado		Isotermal	

**Tabla 3. Significado del símbolo climático de la clasificación climática de Köppen-García del periodo 1986-2015**

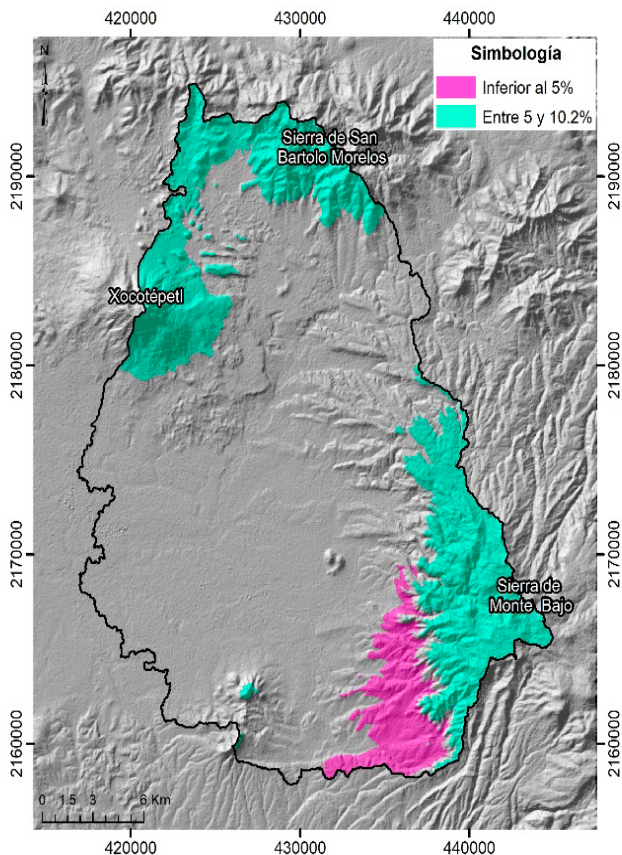
SÍMBOLO CLIMÁTICO	CONDICIÓN TÉRMICA	CONDICIÓN DE PRECIPITACIÓN	OSCILACIÓN TÉRMICA	SEQUÍA INTRAESTIVAL
<i>Cb(w2)igw</i>	Templado	Subhúmedo con régimen de lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal entre el 5 y el 10.2%	Isotermal	Con sequía intraestival
<i>Cb'(w2)igw</i>	Templado			
<i>Cc'(w2)igw</i>	Templado			
<i>Cb(w1)(w)igw</i>	Templado	Subhúmedo con régimen de lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal inferior al 5%		
<i>Cb(w1)igw</i>	Templado	Subhúmedo con régimen de lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal entre el 5 y 10.2%	Con poca oscilación térmica	
<i>Cb(w1)(i)w</i>	Templado			
<i>Cb(w1)(i)gw</i>	Templado			
<i>Cb'(w1)igw</i>	Templado		Isotermal	

En cuanto al porcentaje de precipitación invernal, en ambos periodos están presentes las categorías de “inferior al 5%” (*(w1) (w)* o *(w2) (w)*) y “entre 5% y 10.2%” (*w2*); sin embargo, su distribución espacial cambió, ya que la superficie de la categoría de “entre 5% y 10.2%” se incrementó notablemente en el valle de la subcuenca (véase figura 5). Lo anterior indica un leve incremento de lluvia en la temporada de invierno para el periodo 1986-2015, pero sin que esto implique un cambio de régimen de lluvias, ya que estas se concentran en el verano.

Figura 4. Cambios en el porcentaje de precipitación invernal entre los periodos 1956-1985 y 1986-2015



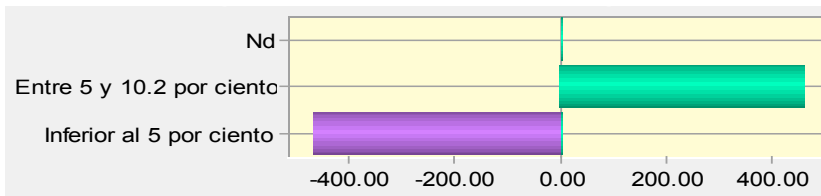
**Figura 5. Persistencias en el porcentaje de precipitación invernal  
entre los periodos 1956-1985 y 1986-2015**



En contraste, se observaron superficies en las que prevaleció el porcentaje de precipitación invernal entre ambos periodos (véase figura 6), esto se aprecia principalmente en las partes altas (Sierra de San Bartolo Morelos, Sierra de Monte Bajo y Xicotépetl) de la subcuenca, en donde las condiciones de humedad invernal prevalecieron “entre 5% y 10.2%”. Lo mismo sucede en las faldas de la Sierra de Monte Bajo (al sur de la subcuenca), en donde el porcentaje de precipitación invernal se conservó “inferior al 5%”.

En términos cuantitativos, y considerando el régimen de lluvias de verano prevaeciente en la totalidad de la subcuenca, la proporción de lluvia en la época invernal cambió en el 73.3% del área de la subcuenca (468.5 km<sup>2</sup>), por lo que pasó de una condición “inferior al 5%” a una con porcentaje de “entre 5% y 10. 2%”, respecto a los dos periodos analizados. Este cambio se observa gráficamente en la figura 7.

**Figura 6. Pérdidas y ganancias del porcentaje de precipitación invernal entre los periodos 1956-1985 y 1986-2015**

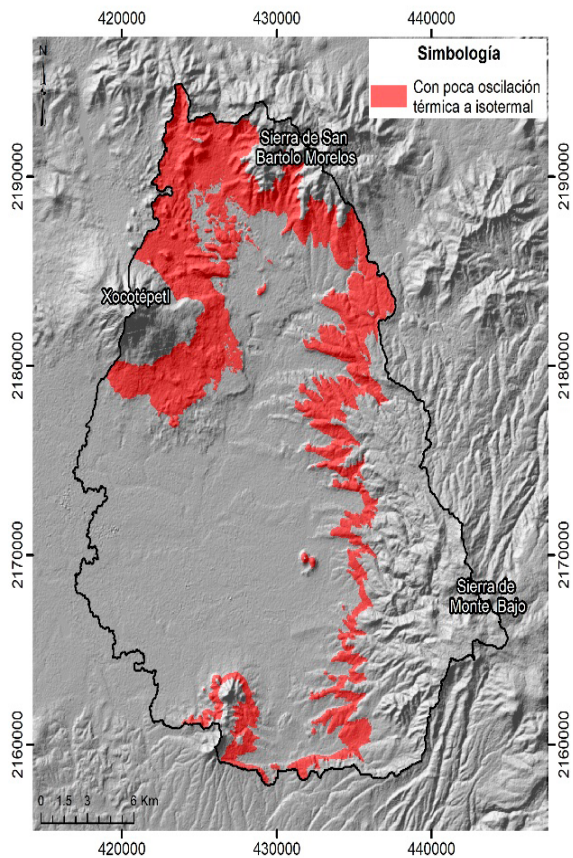


\* Nd equivale a “no evaluado”.

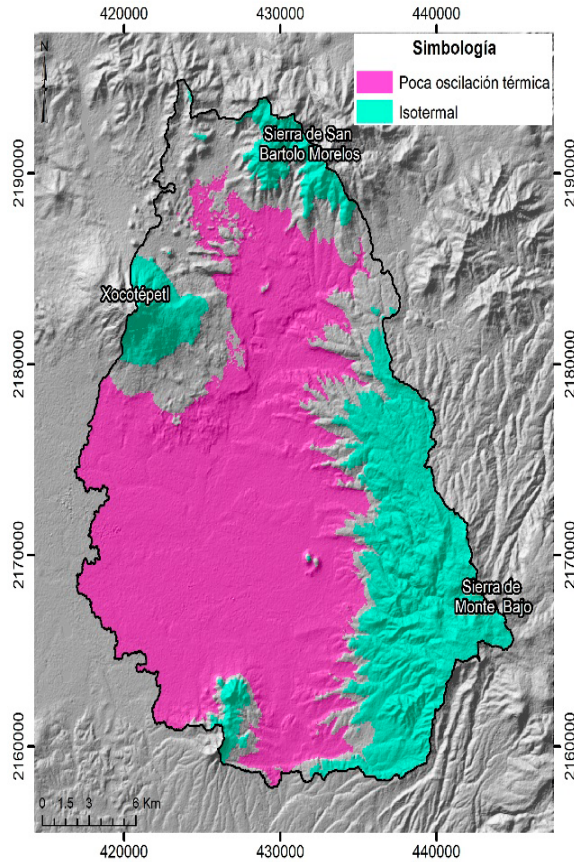
En cuanto al grado de isothermalidad, en ambos periodos se tienen presentes las condiciones “isothermal” (*i*) y “con poca oscilación térmica” (*(i)*); sin embargo, su distribución cambió de un periodo a otro. Se identificó un cambio en la oscilación térmica, porque en el primer periodo las laderas de las elevaciones más grandes de la subcuenca presentaban poca oscilación térmica y, en el segundo periodo, esta superficie se convirtió en un área isothermal, como se ilustra en la figura 8.

El área que no sufrió cambios, o que persiste entre un periodo y otro, se puede ver en la figura 9, ambos extremos de elevaciones mantuvieron su condición (“isothermal” en las partes altas y “con poca oscilación térmica” en las partes más bajas), y fue en las elevaciones intermedias donde aparecieron los cambios. En su conjunto, estas condiciones permiten apreciar que la oscilación térmica con categoría “isothermal” incrementó su superficie para el segundo periodo (1986-2015).

Figura 7. Cambios en la oscilación térmica entre los periodos 1956-1985 y 1986-2015

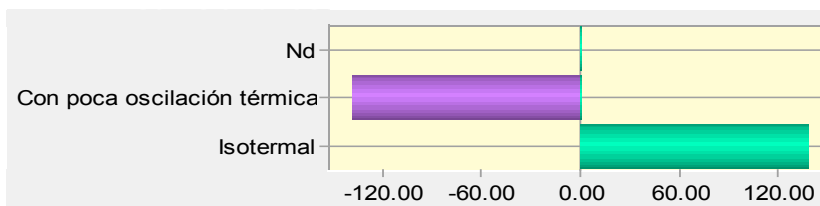


**Figura 8. Persistencias en la oscilación térmica entre los periodos 1956-1985 y 1986-2015**



De forma cuantitativa, el área que cambió de categoría de “poca oscilación térmica” a “isotermal” es de 139.3 km<sup>2</sup>, que equivale al 22% del total de la subcuenca. Por lo tanto, el área que persiste (que no mostró cambios de un periodo a otro) corresponde al 78% (500.1 km<sup>2</sup>) del total de la superficie (26% corresponde a isotermal y 53% a poca oscilación térmica) (véase figura 10). Este análisis indica que, con lo que respecta a la oscilación térmica, actualmente, el 48% de la superficie de la subcuenca es isotermal (en las partes altas) y el 52% restante presenta poca oscilación térmica (en el valle).

**Figura 9. Pérdidas y ganancias de la oscilación térmica entre el primer (1956-1985) y el segundo (1956-1985) periodo de análisis**



\* Nd equivale a no evaluado.

Un punto a destacar es que para el segundo periodo se registró presencia de sequía intraestival en toda la subcuenca. Este tipo de sequía se refiere a la disminución de lluvia en los meses intermedios que integran la época húmeda del año. No obstante esta situación, la condición de humedad no ha implicado un cambio de categoría climática (por ejemplo, se mantiene subhúmedo y no ha cambiado a otro tipo, como podría ser un régimen seco).

## DISCUSIÓN

La comparación de los resultados de la clasificación climática de Köppen-García de los dos periodos (1956 a 1985 y 1986 a 2015) muestran tres tipos de cambios: el primero ha sido con respecto al porcentaje de precipitación invernal, que cambió de “inferior a 5%” a “entre 5% y 10%”, esto en el 73.3% del área total de la subcuenca; el segundo ha sido con respecto a la oscilación térmica “isotermal”, ya que se incrementó en un 22% en las laderas de las elevaciones de la subcuenca; finalmente, el tercer y más significativo cambio es con respecto a la sequía intraestival, que pasó de estar ausente a una presencia en toda el área de la subcuenca para el segundo periodo de análisis (1986-2015); sin embargo, y considerando los criterios de la clasificación climática de Köppen-García, estos cambios no han modificado la condición térmica templada (clima C) ni la condición de humedad (subhúmedo) o el régimen de lluvias en verano (*w*); que se han mantenido estables en la subcuenca en los últimos 60 años de análisis (1956-2015).

Por lo tanto, los resultados obtenidos en esta investigación no manifiestan cambios drásticos o abruptos. En todo caso se podría hablar de cambios iniciales y poco significativos hacia una distribución uniforme de lluvia y temperatura a lo largo del año, pero esto aún no influye lo suficiente para conducir a cambios en la categorización climática de Köppen-García.

Sin embargo, otros estudios realizados para el Estado de México y la zona centro del país afirman que la precipitación ha disminuido y podría seguir disminuyendo en los próximos años, como consecuencia de los efectos del cambio climático. Tal es el caso de López *et al.* (2018), quienes mencionan que la precipitación promedio anual ha disminuido en todo el Estado de México, así como Núñez-González (2020) quien hizo un análisis de tendencias para toda la República Mexicana y mostró una reducción en las precipitaciones registradas de 1960 a 2010 del noreste y centro de México. No obstante, dichos resultados se han obtenido de manera general, tanto a nivel entidad como a nivel país, con datos anuales, y no señalan si esta tendencia ha tenido implicaciones en las categorías del clima.

Por otra parte, Astudillo-Sánchez *et al.* (2017) señalan una reducción de las precipitaciones de verano y un aumento en las precipitaciones y en la temperatura de invierno en algunos años del periodo 1985 a 2012, dominados por las condiciones cálidas del Niño. Estos resultados se obtuvieron analizando el ancho de anillo del *Pinus hartwegii* (conocido popularmente como ocote blanco o pino de las alturas) que se localiza en los bosques del Sistema Volcánico Transmexicano, y se asemejan a los resultados obtenidos con respecto al porcentaje de precipitación invernal.

Volviendo al caso específico de la subcuenca del río Sila, los resultados obtenidos podrían estar estrechamente relacionados con la percepción que tiene la población respecto a la reducción de la precipitación, lo que se puede atribuir, en especial, a la sequía intraestival presente en los últimos 30 años, la que provoca una disminución de precipitación en los meses intermedios que integran la época húmeda del año, relacionada con la temporada de crecimiento de sus cultivos (Bee, 2014).

Finalmente, es importante indicar que los modelos de diferentes escenarios de cambio climático para México sugieren una disminución de la precipitación y un aumento inminente de la temperatura durante los próximos 100 años para todo el Estado de México (INECC, 2022). Por lo cual, es importante desarrollar estudios a nivel local que permitan conocer el comportamiento de un área en específico, tal

y como lo sugieren Asitatikie y Gebeyehu (2021), Boru *et al.* (2019) y Hernando *et al.* (2012).

## CONCLUSIONES

Se procesaron los datos diarios de precipitación y temperatura de 1956 a 2015 para analizar las transiciones y persistencias de la clasificación climática de Köppen-García, entre dos periodos de 30 años (1956-1985 y 1986-2015). Los resultados mostraron tres tipos de cambios en el segundo periodo de análisis (1986-2015) con respecto al primero (1956-1985):

1. Se obtuvo un leve incremento en el porcentaje de precipitación invernal.
2. Se incrementó la superficie con condición isotermal.
3. Se presentó sequía intraestival en la totalidad de la subcuenca.

Lo anterior no representa un cambio en la condición térmica templado (clima *C*) y el régimen de lluvias de verano (*w*). Por lo tanto, se puede hablar de una estabilidad del clima de la subcuenca.

La estabilidad del clima, identificada entre 1956 y 2015, no significa que no sean necesarias medidas de adaptación y mitigación ante el cambio climático o la variabilidad climática, ya que estas asegurarán que dicha estabilidad perdure por más tiempo. Además, queda de manifiesto que los patrones locales de cambio climático y variabilidad climática no siempre se comportan igual que los patrones globales (por ejemplo, los escenarios de cambio climático con resolución de 25 km). Se identifica que los hallazgos de esta investigación pueden ser contrastados con un análisis de tendencias espacio-temporales con series temporales de precipitación y temperatura, lo cual brinda la oportunidad de explorar nuevas líneas de investigación.

## REFERENCIAS

- Asitatie, A. N. y Gebeyehu, W. Z. (2021). Assessment of hydrology and optimal water allocation under changing climate conditions: the case of Megech river sub basin reservoir, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(4), pp. 2629-2642. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40808-020-01024-0>
- Astudillo-Sánchez, C. C., Villanueva-Díaz, J., Endara-Agramont, A. R., Nava-Bernal, G. E. y Gómez-Albores, M. A. (2017). Climatic variability at the treeline of Monte Tláloc, México: a dendrochronological approach. *Trees-Structure and Function*, 31(2), pp. 441-453. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-016-1460-z>
- Bee, B. A. (2014). “Si no comemos tortilla, no vivimos”: women, climate change, and food security in central Mexico. *Agriculture and Human Values*, 31(4), pp. 607-620. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10460-014-9503-9>
- Boru, G. F., Gonfa, Z. B. y Diga, G. M. (2019). Impacts of climate change on stream flow and water availability in Anger sub-basin, Nile Basin of Ethiopia. *Sustainable Water Resources Management*, 5(4), pp. 1755-1764. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40899-019-00327-0>
- BRIO Agropecuario. (2020). *Aseguran en el Estado de México que es imposible que avionetas inhiban lluvias*. <https://brioagropecuario.com/2020/06/29/aseguran-en-el-estado-de-mexico-que-es-imposible-que-avionetas-inhiban-lluvias/>
- Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE). (2015). *Base de datos climatológica nacional (Sistema CLICOM)*. <http://clicom-mex.cicese.mx/>
- Deng, C., Pisani, B., Hernández, H. y Li, Y. (2020). Assessing the impact of climate change on water resources in a semi-arid area in central Mexico using a SWAT model. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. DOI: <https://doi.org/10.1029/2008WR007615>
- Edin, D. (2014). Los distintos enfoques y la evolución de la Geografía como ciencia. *Revista Geográfica Digital*, 21, pp. 1-22. <https://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/Geo21/archivos/cuadra14.pdf>
- González-Celda, G., Ríos, N., Benegas-Negri, L. y Argotty-Benavides, F. (2021). Impacto del cambio climático y cambio de uso/cobertura de la tierra en la respuesta hidrológica y erosión hídrica en la subcuenca del río Quiscab. *Tecnología y Ciencias del Agua*. DOI: <https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2021-06-09>
- Hernando, L., Ruiz, A. y Kathya, S. (2012). Availability of Water Resources in the Rio Segundo Micro-Basin. Central Region of Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 1(48), pp. 117-132. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=451744685006>

- Hutchinson, M. F. y Xu, T. (2013). *Anusplin version 4.4. User Guide*. Agosto.
- Instituto de Recursos Mundiales [WRI, por sus siglas en inglés]. (2019). *Water Risk Atlas*. [https://www.wri.org/applications/aqueduct/water-risk-atlas/#/?advanced=false&basemap=hydro&indicator=bws\\_cat&lat=19.31243929589183&lng=-99.33096310123803&mapMode=view&month=1&opacity=0.5&ponderation=DEF&predefined=false&projection=absolute&scenario=optimi](https://www.wri.org/applications/aqueduct/water-risk-atlas/#/?advanced=false&basemap=hydro&indicator=bws_cat&lat=19.31243929589183&lng=-99.33096310123803&mapMode=view&month=1&opacity=0.5&ponderation=DEF&predefined=false&projection=absolute&scenario=optimi)
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2022). *Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación*. <http://atlasclimatico.unam.mx:8578/AECC/servmapas>
- López-García, T., Manzano, M. y Ramírez, A. (2017). Water availability under climate change scenarios in the Valle de Galeana, Nuevo León, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(1), pp. 105-114. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85030678449&partnerID=40&md5=861b1b86a43ef20c44fa58b66b548c7f>
- Lopez, S., Espósito, J. L., Esteller, M. V. y Franco, R. (2018). *Estrategias para la protección de manantiales: propuesta metodológica de acuerdo al entorno físico-social y proyección de escenarios*. UAEMEX.
- Manzano-Solís, L. R., Gómez-Albores, M. A., Díaz-Delgado, C., Mastachi-Loza, C. A., Ordoñez-Sierra, R., Bâ, K. y Franco-Plata, R. (2018). Identification of Variations in the Climatic Conditions of the Lerma-Chapala-Santiago Watershed by Comparative Analysis of Times Series. *Hindawi*, 2018.
- Minga, S. (2018). *Análisis de cambio del rendimiento hídrico actual Y bajo escenarios climáticos futuros en la región sur del ecuador*. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/99126>
- Nandi, S. y Manne, J. R. (2020). Spatiotemporal Analysis of Water Balance Components and Their Projected Changes in Near-future Under Climate Change Over Sina Basin, India. *Water Resources Management*, 34(9), pp. 2657-2675. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02551-2>
- Ngoma, H., Wen, W., Ojara, M. y Ayugi, B. (2021). Assessing current and future spatiotemporal precipitation variability and trends over Uganda, East Africa, based on CHIRPS and regional climate model datasets. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 133(3), pp. 823-843. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00703-021-00784-3>
- Nonki, R. M., Lenouo, A., Lennard, C. J. y Tchawoua, C. (2019). Assessing climate change impacts on water resources in the Benue River Basin, Northern Cameroon. *Environmental Earth Sciences*, 78(20). DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8614-4>

- Núñez-González, G. (2020). Analysis of the trends in precipitation and precipitation concentration in some climatological stations of Mexico from 1960 to 2010. *Natural Hazards*, 104(2), pp. 1747-1761. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04244-w>
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2018). *Guía de prácticas climatológicas*.
- OMM. (2022). *Preguntas frecuentes -Clima*. Organización Meteorológica Mundial. <https://public.wmo.int/es/preguntas-frecuentes-clima>
- Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático [IPCC, por sus siglas en inglés]. (2018). *Anexo I: Glosario*. Calentamiento global de 1,5 °C. Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto i. <https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/ipcc-en-espanol-publications/>
- Pandey, B. K., Khare, D., Kawasaki, A. Mishra, P. K. (2019). Climate Change Impact Assessment on Blue and Green Water by Coupling of Representative CMIP5 Climate Models with Physical Based Hydrological Model. *Water Resources Management*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2093-3>
- Pilares, I., Montalvo, N., Mejía, A., Guevara-Perez, E., Fano, G. y Alfaro, R. (2018). Evaluation of water availability in the Cabanillas river basin of the Peruvian Altiplano under regionalized climatic scenario. *Ingeniería UC*, 25(2), pp. 307-319.
- Ruiz-Corral, J. A., Contreras Rodríguez, S. H., García Romero, G. E. y Villavicencio García, R. (2021). Climas de Jalisco según el sistema Köppen-García con ajuste por vegetación potencial. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(5), pp. 805-821. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2988>
- Ruiz, A. V., Luis, M. M. R. y González, F. M. C. (2012). Caracterización climática para la región de bahía de banderas mediante el sistema de Köppen, modificado por garcía, y técnicas de sistemas de información geográfica. *Investigaciones Geograficas*, 79(Mx), pp. 7-19. DOI: <https://doi.org/10.14350/rig.34534>
- Sánchez Santillán, N., Binnqüist Cervantes, G. S. y Garduño López, R. (2018). Sequía intraestival en la Reserva de la Biósfera El Cielo y su entorno, Tamaulipas, México. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 27(1), pp. 146-163. DOI: <https://doi.org/10.15446/rcdg.v27n1.56485>
- Serur, A. B. y Sarma, A. K. (2018). Current and projected water demand and water availability estimates under climate change scenarios in the Weyib River basin in Bale mountainous area of Southeastern Ethiopia. *Theoretical and Applied Climatology*, 133(3-4), pp. 727-735. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2219-1>

- Vázquez-Ochoa, L. A., Correa-Sandoval, A., Vargas-Castilleja, R. D. C., Vázquez-Sauceda, M. D. L. L. y Rodríguez-Castro, J. H. (2021). Modelo hidrológico, calidad del agua y cambio climático: soporte para la gestión hídrica de la cuenca del río Soto la Marina. *CienciaUAT*. DOI: <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v16i1.1498>
- Wang, Y., Wang, X., Li, C., Wu, F. y Yang, Z. (2015). Spatiotemporal analysis of temperature trends under climate change in the source region of the Yellow River, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 119(1-2), pp. 123-133. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1112-4>

# MODELO DE INTERACCIÓN ESPACIAL PARA MEDIR LA ACCESIBILIDAD DE CONJUNTOS URBANOS DE INTERÉS SOCIAL DE LA ZONA METROPOLITANA DE TOLUCA

Beatriz Rodríguez Guzmán

Alfonso Mejía Modesto

## INTRODUCCIÓN

La vivienda se ha convertido en un tema relevante para los estudios territoriales, urbanos, sociales, políticos y económicos. Por un lado, es un elemento que funge como núcleo de convivencia familiar en el que se forman procesos culturales, de usos y costumbres, no solo es un proceso constructivo compuesto por paredes, piso, techo y redes de infraestructura ni por un sistema de financiamiento. Esto se refleja en diversos estudios que dan cuenta de la importancia de hablar de sus condiciones de habitabilidad, accesibilidad, riesgo, vulnerabilidad y desarrollo social. La vivienda se ha convertido en un punto focal en las acciones gubernamentales, pero los esfuerzos realizados han sido deficientes y se reflejan en las diversas condiciones en las que viven las ciudades.

En el marco de este artículo, el estudio de la vivienda se observa desde dos perspectivas, la primera con una mirada externa con la que se identifican procesos de interacción y accesibilidad con los elementos que conforman a la ciudad, como el transporte y el espacio público, los centros de trabajo, escolares, de abasto y recreación, así como diversos equipamientos e infraestructuras, que se construyen con la cotidianidad de las actividades de la población. La segunda desde un enfoque de desarrollo inmobiliario de producción masiva, como los conjuntos urbanos en los que se genera un gran número de viviendas, para formar cambios significativos en los procesos de urbanización de la ciudad, que en la mayoría forman conflictos en la residencia de la población que los llega a habitar.

Por lo anterior, la importancia de este estudio radica en mostrar la falta de accesibilidad que existe en los contextos urbanos de la Zona Metropolitana

de Toluca (ZMT); se pretende generar directrices que optimicen la accesibilidad desde el exterior al interior en conjuntos habitacionales, asociadas a factores como pobreza, desigualdad e inseguridad. El objeto de este artículo es desarrollar un modelo de interacción espacial que identifique las condiciones de accesibilidad, complementariedad y funcionalidad que tienen dichos conjuntos urbanos con el entorno que los rodea, que sean factibles para el desarrollo integral de las personas, además, servirá como indicador para el diseño, elaboración y evaluación de una política pública futura; este modelo también permitirá direccionar las estrategias para desarrollar acciones de interés público en estos entornos habitacionales.

Este documento se desarrolla en cinco apartados: 1) Contexto de accesibilidad en conjuntos urbanos de la ZMT, con la finalidad de dar a conocer el crecimiento y la problemática existente en el caso de estudio. 2) Aplicación teórica y conceptual de interacción espacial, en la que se integra un análisis teórico-conceptual aplicado en el desarrollo del modelo de interacción espacial. 3) Proceso de un modelo de interacción espacial; en este apartado se expone el método aplicado por medio de una distribución exponencial y centroide. 4) Modelo de interacción espacial en conjuntos urbanos de la ZMT, en el que se presenta el desarrollo, resultados y discusión de la investigación realizada, y 5) Conclusiones generales a las que se llegó.

## CONTEXTO DE ACCESIBILIDAD EN CONJUNTOS URBANOS DE LA ZMT

La accesibilidad se ha convertido en un factor esencial como parte del origen destino de la población, además de ser un elemento que determina la convivencia y mejora las condiciones de habitabilidad de los entornos urbanos. La accesibilidad hace referencia a los desplazamientos cotidianos de las personas que tienen como origen su vivienda y como destino las diversas centralidades en las que realizan algún tipo de actividad, como educación, recreación, comercio, abasto, trabajo entre otras.

La accesibilidad resulta compleja para identificar (medir) y tipificar, ya que implica diferentes dificultades en flujo origen-destino desde los conjuntos habitacionales de interés social hacia las centralidades. Una de las dificultades para la medición de la accesibilidad es que las personas no tienen un único par de origen destino, es decir no van de un punto A a un punto B de manera cotidiana. Si no que entre A y B existen otros puntos de recorrido cotidiano, estos recorridos tienen un papel fundamental en

la dinámica cotidiana de las personas y familias que inciden en la habitabilidad de los conjuntos urbanos de interés social y transforman la vivienda en un hogar en el que coexisten las personas con diferentes necesidades e intereses.

Por lo tanto, la vivienda se considera un elemento y un derecho fundamental en la existencia de la humanidad, siempre ha tenido la necesidad de organizar el medio y los espacios que lo rodean, es así como la vivienda ha sido utilizada para la protección, cuidado y seguridad de la sociedad, para lo que se parte de un concepto amplio, que no solo se considera un proceso constructivo, sino que profundiza y trasciende en las necesidades del ser humano, que involucran sentimientos, emociones, sensaciones, estilos de vida, entre otros elementos para su desarrollo individual o colectivo.

Sin embargo, a pesar de ser un elemento fundamental en el crecimiento y desarrollo de la población, se ha convertido en una complejidad desde el marco legal y normativo, que pasa por fenómenos geográficos, sociales, económicos y urbanos, para formar cinturones de desigualdad, segregación y exclusión en el país. Esto afecta principalmente a la población que radica en zonas urbanas, situación que se va agravando conforme los núcleos urbanos se expanden hasta conformar una zona metropolitana, que puede ser entendida como una estructura territorial interna, en la que se considera una compleja mezcla de atributos y flujos, entre los que destacan los lugares de residencia, de estudio y de empleo (Sobrino, 2007, p. 584). En este proceso el suelo mejor localizado en la ciudad, con servicios e infraestructura, se convierte en una mercancía costosa. Todo este proceso deja sin oportunidad a la clase trabajadora o más desfavorecida económicamente, que no tiene posibilidades de adquirir estos espacios.

Ante la demanda de suelo urbano para una vivienda digna y decorosa, como lo estipula la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su artículo 4º, el Estado desde mediados del siglo xx y principios del siglo xxi ha creado políticas públicas paliativas, principalmente en las zonas metropolitanas del país, pero sin lograr consolidar estrategias efectivas. Los gobiernos, tanto estatales como municipales, que conforman la ZMT, se han caracterizado por la autorización de construcción de conjuntos urbanos de interés social y social progresivo en la periferia de sus localidades, donde los suelos tienden a ser más económicos, alejados de las centralidades principales, con escasez de servicios o infraestructura.

Este tipo de gestiones provocan una serie de fenómenos sociales, culturales, geográficos, ambientales y económicos en las familias que adquieren vivienda de

interés social en la ZMT y forman núcleos de vivienda inaccesibles a espacios o servicios públicos, también los dejan fuera del radio de centralidades laborales, de abasto, educación, salud y recreación, lo que ocasiona gastos mayores de traslado, recorridos de distancias largas y tiempos de traslado prolongados, así como el pago de servicios a costos mayores de los que se ofertan en una centralidad principal.

Es necesario contextualizar que una centralidad se caracteriza como la capacidad de una ciudad o región, para ofrecer bienes y servicios a la población de la región circundante (Christaller, 1966). En el siguiente apartado se exponen los principios teóricos y conceptuales aplicados en este artículo.

#### APLICACIÓN TEÓRICA Y CONCEPTUAL DE INTERACCIÓN ESPACIAL

Como ya se ha expuesto, la vivienda es pieza clave en la evolución de centros de población, lugares que conforme a sus actividades se especializan para convertirse en una centralidad principal con servicios o bienes específicos que, con el tiempo, se van integrando como parte del crecimiento territorial y se incorporan a una zona metropolitana. En este apartado, se exponen las principales teorías aplicadas en esta investigación, así como conceptos y elementos referenciales.

En primer lugar, revisaremos el proceso de incorporación de centralidades, desde la parte empírica de las ciudades este fenómeno es simple en su interpretación, aunque detrás de su forma sencilla existe un análisis teórico y conceptual, a través de la Teoría del Lugar Central (TLC) que se despliega de un significado geométrico, en el que la posición central parte de un punto en un espacio circunscrito. Este concepto fue desarrollado desde la economía regional, en 1933, por Walter Christaller, quien desarrolló la teoría de los lugares centrales, en los que una urbe va adquiriendo la capacidad de ofertar servicios en una región próxima, por lo tanto, se vuelve un “lugar central” (Beuf, 2019, pp. 131-132).

La TLC se ha convertido en un supuesto utilizado en áreas como la geografía, el urbanismo y la planeación regional, por mencionar algunas; por lo tanto, es retomada para la creación de un modelo de interacción espacial con la finalidad de definir y normar la distribución espacial de servicios públicos, como argumenta Garrocho (2003), de esta manera:

Incorporar el concepto de centralidad es importante porque, de acuerdo con la TLC parece poco adecuado medir el peso o la masa de los asentamientos por el tamaño de sus poblaciones, dado que la atracción de un lugar está en función de su centralidad y no de su tamaño demográfico (Garrocho, 1992, p. 71).

Asimismo, una centralidad es una característica de la ciudad en su conjunto y no de una parte de ella; la distancia es la clave de esta teoría. De acuerdo con Beuf (2019), la minimización de los costos del transporte para los consumidores determina la distancia física entre los lugares centrales o las ciudades capitales. Los servicios se distribuyen en el espacio según su nivel de escasez o se concentran en un mismo lugar. También las dinámicas culturales, de movilidad y económicas de la población actual han transformado los modelos tradicionales en el territorio estableciendo en aglomeraciones y dispersión geográfica lo que arroja como consecuencia la concentración de servicios de alto nivel en las grandes ciudades.

Esta transformación espacial y técnica de la actividad económica incluye la dispersión en equipamientos, servicios e infraestructura especializada, lo que forma estructuras complejas en el territorio y fomenta distintos desplazamientos a centros de trabajo, educativos o en la búsqueda de otros servicios. Estas dinámicas y circunstancias experimentan la generación de modelos de interacción espacial con la finalidad de dar respuesta explicativa, e incluso predictiva, a algunos de los principales problemas planteados en el ámbito de la ciencia regional (Santos, 1994, p. 51). Para ello, las formulaciones estadísticas y matemáticas en este tipo de modelos han sido aplicadas en diferentes esferas del conocimiento geográfico, como la demografía, el urbanismo, la sociología o los procesos migratorios en las regiones relacionadas con la atracción de lugares de destino o rechazo de lugares de origen, que explican la diferenciación espacial de los flujos característicos de este tipo de desplazamientos poblacionales.

Estas conexiones entre centralidades, funcionalidad y aplicabilidad de modelos interactivos han sido estudiadas y ocupadas en casos urbanos, desde la red de transporte hasta la de la localización de equipamientos o servicios en las ciudades, con diversos planteamientos teóricos de disminución de costos y distancias (Santos, 1994, p. 52). En este sentido, se hizo un análisis de la Teoría de Interacción Espacial (TIE), que Fotheringham y O’Kelly definen “como las relaciones de movimientos de personas y

bienes de comunicación de ideas e información que tienen lugar en el espacio, como consecuencia de un complejo proceso de toma de decisiones” (1989, p. 65).

Este supuesto se aplica principalmente en áreas sociales y regionales, el principal actor es la población, pues toma comportamientos y decisiones que determinan sus movimientos y flujos interactivos: viajes por motivo de recreación u ocio, elección de servicios públicos o rutinas laborales o escolares; por tanto, el sistema de interacción espacial se define también por componentes y atributos de las relaciones de interdependencia, así la interacción espacial desde la urbe forma esta interacción en distintos equipamientos o servicios, la variación de los conjuntos urbanos forma una estructura espacial compleja y alejada, mientras que los centros especializados en la localización serán los elementos receptores (Santos, 1994, pp. 52-53).

Se puede determinar que los conjuntos urbanos de interés social se definen como la ejecución para el desarrollo urbano, cuyo objeto es reordenar o estructurar una unidad espacial integral, el trazo de la infraestructura vial, la división del suelo, las normas de usos, aprovechamientos y destinos del suelo, las obras de infraestructura, la urbanización y el equipamiento urbano, la ubicación de edificios y la imagen urbana de un predio ubicado en áreas urbanas o urbanizables (Seduo, 2023). En razón de lo anterior, como lo precisan Iracheta y Pedrotti (2013), para lograr dichos supuestos, el Estado de México ha impulsado la producción habitacional para la creación de la figura de conjunto urbano, para la que se ha concedido la función de desarrollo y la oferta de vivienda de interés social, pero la localización y los impactos (territoriales, sociales y ambientales) son menos importantes.

Por tanto, la ZMT presenta características complejas, desequilibradas e inaccesibles, su concepto opuesto es la accesibilidad como factor espacial esencial en el entorno construido, que permite el cumplimiento de necesidades colectivas; “la mejora del conocimiento sobre la situación vital de las personas [...], la participación, la igualdad de trato y la no discriminación” (Linares, Hernández y Rojas, 2018, p. 119). Para este trabajo también se suma que la accesibilidad es un componente operacional, por tanto, si un espacio público urbano presenta difícil accesibilidad para la mayoría de la población, esto representa una ciudad con un diseño urbano y arquitectónico limitado, lo que fomenta la segregación espacial y la exclusión social.

Aunque la accesibilidad desde enfoques urbanos y sociales surge por la necesidad de “supresión de barreras”, que limitan la participación de sectores sociales y económicos en la utilización de espacios públicos. La eliminación de barreras parte de

la comprobación de la falta de igualdad de oportunidades de acceso para las personas de escasos recursos o por limitaciones funcionales (Alonso, 2016, p. 261); las barreras pueden ser económicas, sociales, físicas o arquitectónicas, de ellas se desprenden elementos vinculados a los desafíos para llegar a una centralidad de comercio, abasto, cultura de recreación o mixto, desde el costo de transportación, pasando por alguna singularidad física, infraestructuras inexistentes, rutas de transportes lejanas y muchos elementos más por describir.

Dichos obstáculos son evidentes en el espacio público, entendido como:

un punto de partida para conocer la ciudad, es pensarla como espacio social y simbólico percibido, vivido y apropiado por individuos y grupos diferentes, que tienen un papel activo en la definición del orden urbano y en la producción de la forma, la estructura y las actividades socioeconómicas y político-culturales. En la construcción social y simbólica de la ciudad, el espacio público es un elemento fundamental del orden urbano, en su relación con el espacio privado, expresa la manera como los habitantes usan y tienen acceso a los recursos sociales, y la relación entre éstos, la ciudad y las instituciones (Ramírez, 2013, p. 7).

Por otra parte, el espacio público forma una sinergia con la vivienda, sin la existencia de uno no es posible concebir la otra. En este sentido, la vivienda, más allá de ser una unidad física material, es un sistema de escalas espaciales que se relacionan entre sí, que incluyen el fraccionamiento y la ciudad. Este sistema de escalas da continuidad a la acción de habitar de sus residentes y define a la vivienda como una unidad integrada al entorno circundante, escenario cotidiano de las relaciones sociales, contenedor de emociones y aspiraciones sociales diversas (Espinosa, 2014, p. 18).

La vivienda de interés social presenta una situación de malas calidades de materiales, que también trastocan los espacios públicos, como se aborda desde este análisis, acentuando que la mayoría se localizan en la periferia, a grandes distancias de la centralidad, carecen de espacios de esparcimiento y recreación, entre otras dificultades, como servicios y equipamientos especializados, esto potencia problemas sociales y económicos de los habitantes, como: segregación socioespacial, inseguridad, fragmentación social, violencia, hacinamiento y entre otros, derivados de la falta de accesibilidad (Espinosa, 2014, p. 19).

La vivienda se ha convertido en un sistema industrializado, donde los individuos son homogeneizados (Flores, 2010, p. 81) y se pierde de vista su esencia como parte integradora de la sociedad, como derecho ineludible, parece que las políticas gubernamentales originan meros consumidores de viviendas, de conformidad con criterios y conductas impuestos por todo el sistema, creando falsas necesidades sin cubrir las necesidades reales. En las ciudades mexicanas, los conjuntos urbanos de interés social se han convertido en el negocio más rentable de las constructoras, cuyos clientes potenciales son personas de recursos limitados, que buscan hacerse de un patrimonio y un cobijo para sus familias.

Las teorías y conceptos abordados sirven como argumentación a la problemática expuesta, para explicar la falta de accesibilidad existente en conjuntos urbanos de interés social y las centralidades que se localizan en la ZMT, pues este patrón se repite en las distintas escalas de interacción espacial y en las dinámicas urbanas. Por esta razón, en este capítulo se desarrolló un modelo económico y gravitacional, que da a conocer que la interacción espacial y la relación con conjuntos habitacionales es de suma importancia, pues si se logra mejorar la accesibilidad de sus viviendas desde las centralidades principales en donde tienen lugar las principales actividades será posible optimizar recursos y mejorar su calidad de vida en cada desplazamiento, de forma que el siguiente apartado tiene como finalidad dar a conocer el proceso metodológico que se siguió en esta investigación.

## PROCESO DE UN MODELO DE INTERACCIÓN ESPACIAL

En el apartado anterior se dio a conocer el sustento teórico y conceptual del fenómeno abordado, por tanto, aquí se dará fundamento al proceso cuantitativo y descriptivo, y se hará el análisis de métodos para el desarrollo de un modelo que servirá como indicador y para dar posibles soluciones a problemas urbanos y sociales, también servirá como herramienta de evaluación para la aplicación de políticas públicas urbanas acordes con las necesidades planteadas.

Desde lo teórico y metodológico se ha utilizado este proceso para explorar flujos de interacción entre los asentamientos, cuyo modelo es la interacción espacial. Este modelo apoya los conceptos básicos de la teoría del lugar central, conforme a ella, los flujos entre los asentamientos se relacionarán positivamente con la centralidad de

cada lugar y, negativamente, con la distancia entre ellos (Garrocho, 1992, p. 64), esta última relación negativa se asocia directamente con el caso de estudio citado.

Las metodologías tradicionales para medir la interacción espacial parten de supuestos poco sostenibles que requieren información específica y que suponen que los grupos poblacionales toman sus decisiones de movilidad de manera absolutamente racional; es decir, que necesitarían contar con toda la información necesaria y disponible y emplear una lógica que maximiza los beneficios de sus recorridos. De esta forma, las personas siempre tomarían sus decisiones de desplazamiento para una interacción espacial tomando en consideración las distancias más próximas de su vivienda hacia principales centralidades para hacer sus actividades de educación, comercio, abasto, cultura, esparcimiento, entre otros.

En contraste con lo anterior, se observa que las personas deciden establecer sus recorridos con base en sus actividades económicas o por costumbre, y no solo establecen sus recorridos con dirección a las centralidades que ofrecen mayor número de bienes y servicios y/o a las más cercanas (central de abastos, parques metropolitanos, centros comerciales), por tanto, se puede afirmar que las interacciones espaciales pasan por una serie de preferencias, sociales y económicas y, en ocasiones, parecen contradictorias.

La propuesta metodológica cuantitativa de este documento parte de la relación negativa antes descrita y para la creación del modelo de interacción espacial se utilizó una distribución exponencial. Esta distribución es considerada un equivalente continuo de la distribución geométrica discreta, se caracteriza por la sencillez analítica de sus definiciones; este tipo de distribución es de gran utilidad, pues es un modelo apropiado para la distribución de probabilidad del tiempo de espera entre dos eventos que siguen un proceso de Poisson. La distribución exponencial se deriva de un proceso experimental con características semejantes a la aplicación y al estudio de la distribución de Poisson. Aunque la distribución exponencial considera una variable aleatoria, por lo tanto, el tiempo que tarda en producirse un suceso y la variable aleatoria son continuos. Además, existe una relación entre el parámetro  $\alpha$  de la distribución exponencial, que más tarde aparecerá, y el parámetro de intensidad del proceso  $\lambda$ ; esta relación es  $\alpha = \lambda$  (Valencia, 2020).

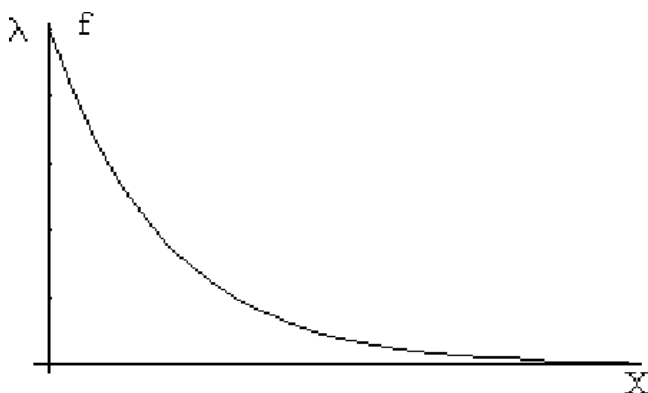
...Al ser un modelo adecuado para estas situaciones tiene una gran utilidad en los siguientes casos:

- Distribución del tiempo de espera entre sucesos de un proceso de Poisson.
- Distribución del tiempo que transcurre hasta que se produce un fallo, si se cumple la condición que la probabilidad de producirse un fallo en un instante no depende del tiempo transcurrido. Aplicaciones en fiabilidad y teoría de la supervivencia... (Valencia, 2020).

Función de distribución:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, x \geq 0$$

Figura 1. Distribución exponencial



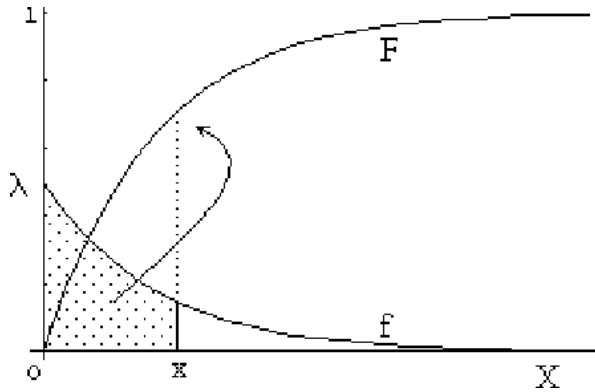
Fuente: <http://cidecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro19/index.html>

Un cálculo inmediato nos dice que si  $x > 0$ .

Debido a que la ecuación que describe la curva es relativamente simple, es posible encontrar directamente probabilidades de interés. Para la distribución exponencial, a la probabilidad de que  $x$  caiga en un cierto rango, es útil trabajar en su lugar con la distribución acumulativa (Rogerson, 2015, p. 100). Por otro lado, esto toma un valor menor que 0 = 0, y un valor cercano a 1 cuando  $x$  es muy grande.

$$1 - F(x) = pr(X > x) = e^{-\lambda x}$$

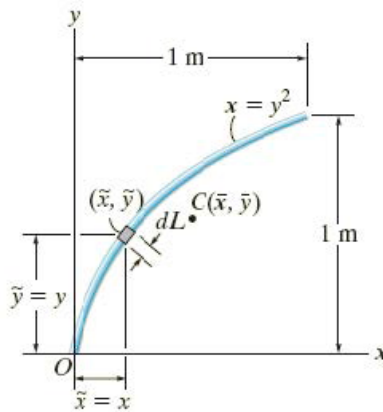
Figura 2. Distribución acumulativa por exponencial de variables



Fuente: <http://cidecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro19/index.html>

Se llama *centroide* o *baricentro* el punto en que se produce la intersección de las medianas que forman parte de un triángulo. Cabe recordar que una mediana es una recta que se traza desde un vértice de la figura hasta el punto medio del lado opuesto, esto permitió conocer la mediana del tiempo y la distancia que se realiza de los conjuntos habitacionales a las principales centralidades (UAEH, 2019).

Figura 3. Centroide por medio de medianas



Fuente: <http://cidecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro19/index.html>

$$Me = Li + \frac{\frac{N}{2} - Fi - 1}{fi} \cdot ai$$

Estos procesos fueron desarrollados y ejecutados para el diseño del modelo de interacción espacial, para determinar el grado de accesibilidad urbana de conjuntos urbanos de interés social de la ZMT. Para esto, el muestreo se delimitó y determinó del conjunto de unidades habitacionales autorizadas por el Gobierno del Estado de México en el periodo comprendido entre 2001 y 2018 en los 16 municipios que conforman la ZMT; lo que dio como resultado 38 conjuntos habitacionales autorizados de interés social en este periodo.

También se hizo la selección de instrumentos y se recopilaron datos, se eligieron las variables cuantitativas para medir el grado de accesibilidad urbana, como el tiempo, la distancia desde los conjuntos habitacionales hasta las principales centralidades industriales, educativas, administrativas y de salud en la ZMT. De tal manera que se calculó el modelo que se explica en el siguiente apartado y se presentan los resultados de la hipótesis planteada para este trabajo.

#### MODELO DE INTERACCIÓN ESPACIAL PARA CONJUNTO DE INTERÉS SOCIAL

En los apartados anteriores se ha explicado la finalidad de esta investigación: la importancia de la accesibilidad en el entorno urbano. Este trabajo surge de las dinámicas poblacionales que hacen las familias que habitan en conjuntos habitacionales de interés social, y que se trasladan hacia distintas centralidades especializadas de la ZMT, estos flujos diarios de personas y sus desplazamientos formulan interacciones en el espacio urbano. Aunque con observación en campo se vislumbró un proceso de interacción y de relaciones sociales, económicas y urbanas desigual, en el que hay exclusión y segregación, derivadas de un crecimiento exponencial sin planeación integral, que permite la construcción de la vivienda de interés social en suelos que aún no cuentan con servicios o radios cercanos de equipamiento.

Otro factor determinante para esta investigación fue la observación del proceso de organización y planeación de la vivienda de la ZMT, pues la escasa o nula planeación es desproporcionada, de forma que despoja de los procesos de identidad a la población

desde lo simple, como un barrio que se rige por usos y costumbres. Por tanto, los conjuntos urbanos de interés social no promueven el sentido de pertenencia dentro de los espacios asignados como áreas comunes y espacios públicos, pues al ser autorizados y construidos, no consideraron elementos de funcionalidad, habitabilidad y accesibilidad, la mayoría son espacios habitacionales con amurallamientos, lo que ocasiona un efecto de ciudades distantes, alejadas, separadas y excluidas de las centralidades principales, que además de brindar todos los servicios mantienen su identidad, incluso con usos y costumbres, lo que les da sus características particulares.

En el mismo sentido, el Estado de México y la ZMT han fomentado políticas, estrategias, programas de desarrollo urbano, de planeación y de vivienda, poco exitosos, al formar centralidades mercantilizadas y comercializadas sin una correcta utilización del suelo; se trata de solventar un problema de vivienda metropolitano, estatal y nacional, pero las estrategias empleadas solo han sido paliativos, que terminan agravando las dificultades de los entornos urbanos, económicos, sociales y ambientales de la población, la que termina viviendo en entornos, internos y externos, segregados, excluidos y desiguales, en espacios limitados, reducidos, que forman prototipos de ciudades dormitorio, sin identidad, con imágenes urbanas monótonas en cada desarrollo habitacional.

ONU-Habitat I. S reafirma que muchas ciudades mexicanas pasan por alto diversos factores de planeación y de desarrollo urbano; no se toman en cuenta factores como la localización, dónde será construida la vivienda, así que las sitúan en áreas de riesgo, carentes de seguridad, sin derechos sobre la tenencia de la tierra, lo que resulta en precariedad y vulnerabilidad. Todos estos factores también generan que las familias que habitan en este tipo de desarrollos de vivienda estén más alejadas de áreas urbanas consolidadas, de fuentes de empleo y de servicios públicos de buena calidad o con amplia cobertura, pues los que se localizan en las inmediaciones de sus conjuntos habitacionales suelen ser insuficientes e ineficientes. Del mismo modo, la urbanización mal planificada provoca desórdenes económicos, disturbios civiles, congestión y degradación ambiental, así como el aumento de barrios marginales y una expansión desmedida (ONU-Habitat, 2018, pp. 12-13).

Todo esto provoca que la población que habita este tipo de viviendas mínimas se encuentre en condiciones poco o nada adaptadas a las condiciones climáticas, a sus necesidades físicas o a su identidad cultural; consecuencia de un modelo de producción en masa, que no ha tenido en cuenta condiciones territoriales específicas

(ONU-Habitat I, 2018, p. 13). Asimismo, genera crisis en las realidades sociales y urbanas, como lo indica Flores (2010, pp. 80-81), los ciudadanos bajo el régimen de producción y del capitalismo se convierten en espectadores y en víctimas de su propio *show*, tras ser manipulados por la necesidad que enfrentan las ciudades en materia de vivienda y de espacios.

Los conjuntos urbanos de la ZMT, se encuentran, la mayoría en la periferia de los municipios que conforman la metrópoli, cabe destacar que son conjuntos habitacionales que presentan problemas de agua potable, falta de recolección de residuos sólidos, alumbrado público y transporte seguro; largos tiempos de recorrido para llegar a alguna centralidad; una característica particular de todos los municipios son los altos costos de transporte, en distancias que oscilan entre los 10 y los 25 km de distancia, derivado de la falta de accesibilidad, pues deben pagar dos o tres transportes de ida y de regreso lo que arroja un total de cuatro a seis transportes por día para cada persona, con este análisis comienza la presentación de los resultados encontrados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

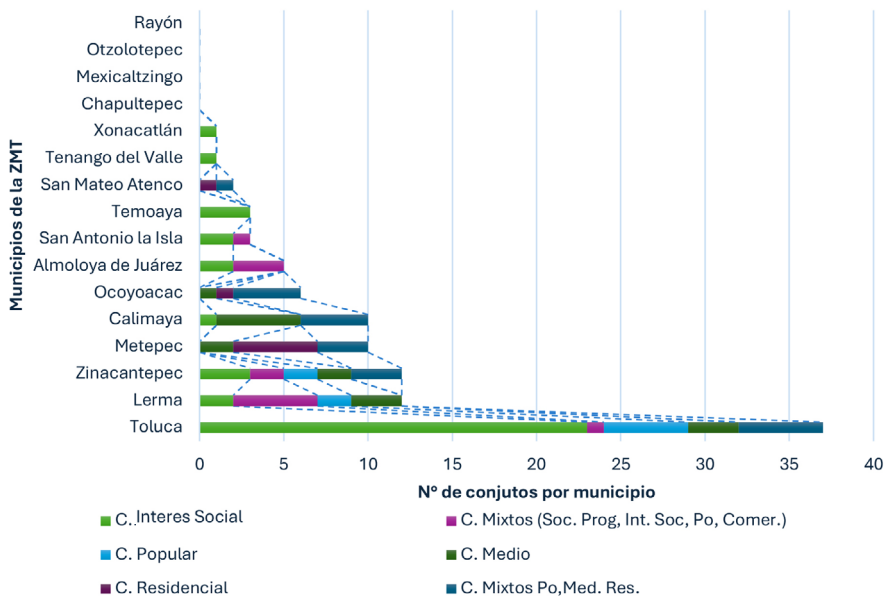
Dentro de los resultados encontrados en esta investigación se confirma la hipótesis estructurada en el planteamiento, que tenía como sustento demostrar la falta de accesibilidad urbana en conjuntos habitacionales de interés social de la ZMT. Para ello se hizo investigación de campo y recopilación de bases de diversas autoridades estatales e institutos nacionales como Inegi. Para iniciar se buscaron y consultaron bases de datos del Gobierno del Estado de México (GEM), por medio de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Obra Pública (Seduo), con la finalidad de conocer el número de conjuntos habitacionales autorizados en los 16 municipios<sup>3</sup> que conforman la ZMT. Una vez analizadas las bases de datos recopiladas se determinó el periodo de estudio, se definió un periodo de 2001 a 2018. En este análisis detallado también se eligieron los municipios que conforman la ZMT y, a su vez, se hizo la clasificación de autorizaciones por tipología de vivienda de conjuntos urbanos otorgadas por el Gobierno del Estado de México.

---

<sup>3</sup> Toluca, Metepec, Lerma, Zinacantepec, Almoloya de Juárez, Temoaya, Calimaya, Chapultepec, Mexicaltzingo, Tengo del Valle, Xonacatlán, Otzolotepec, Rayón, San Mateo Atenco, San Antonio la Isla, Ocoyoacac.

En esta clasificación, la información arrojada fue que el municipio de Toluca cuenta con mayor número de autorizaciones en la *Gaceta*, de diferentes tipologías de vivienda, pero destacan las autorizaciones de conjuntos urbanos de interés social y mixto de tipologías similares, seguido de los municipios de Lerma, Zinacantepec, Almoloya de Juárez, San Antonio la Isla, Calimaya, Tenango del Valle y Xonacatlán. Se hizo el mapeo de identificación y localización de estos conjuntos urbanos. En este mismo sentido, el resto de los municipios de la ZMT se clasificaron de acuerdo con las tipologías de vivienda en las que predominaron las autorizaciones otorgadas por *Gaceta*, aquí se encontró que en el municipio de Metepec predominaron solo tres tipologías de vivienda: medio, residencia y campestre; y siguiendo este patrón, Calimaya, San Mateo Atenco y Ocoyoacac. También se encontraron municipios en los que no se registró ninguna autorización, como: Mexicaltzingo, Rayón, Chapultepec y Oztolotepec, como se muestra en la gráfica 1.

**Gráfica 1. Clasificación de conjuntos urbanos de todas las tipologías autorizados del 2001 al 2018 en la ZMT.**



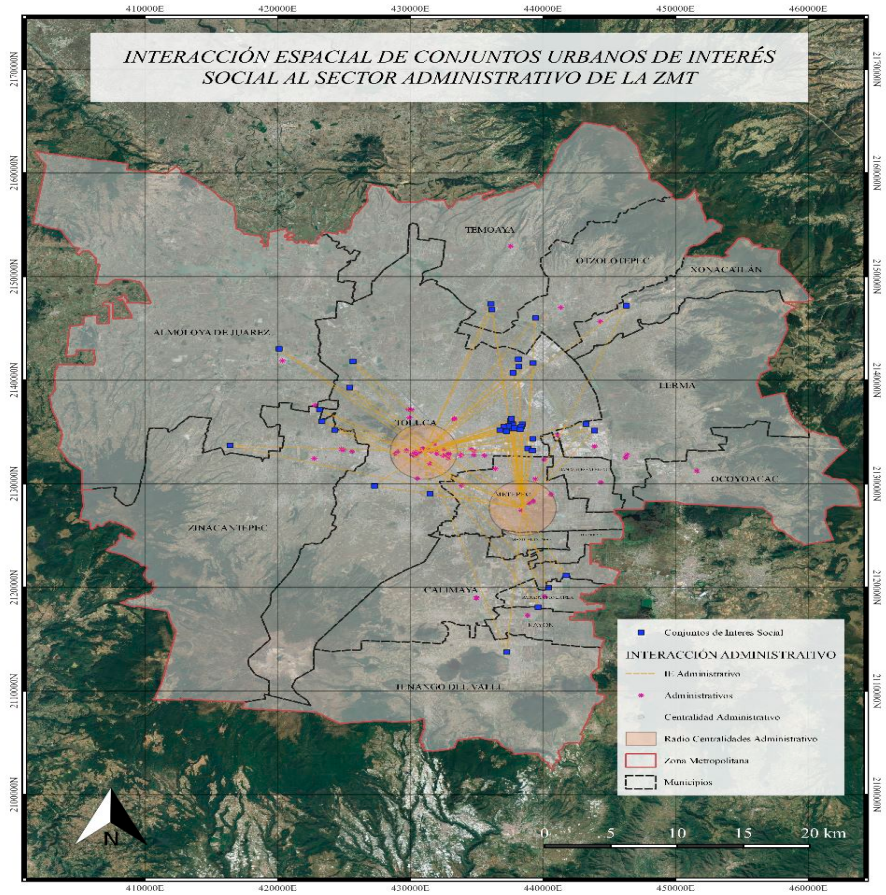
Fuente: elaboración propia con base en GEM, 2022.

Esta gráfica deja ver que existen municipios que por sus dinámicas espaciales, territoriales y económicas incrementan los estatus del tipo de vivienda, lo que propicia que sean municipios con cierta exclusividad, segregando y alejando a la población más vulnerable en términos económicos, lo cual genera procesos de exclusión y desigualdad en la Zona Metropolitana de Toluca.

En segundo lugar, una vez depurada y clasificada la tipología de vivienda, se hizo un mapeo en el que se ubicaron conjuntos habitacionales de interés social, el resultado fue reconocer que en la zona norte del municipio de Toluca predomina este tipo de vivienda, así como en las inmediaciones de esta zona, por tanto, se hizo una consulta minuciosa en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), para identificar las actividades económicas predominantes en estas regiones y con el resto de municipios que conforman la Zona Metropolitana de Toluca.

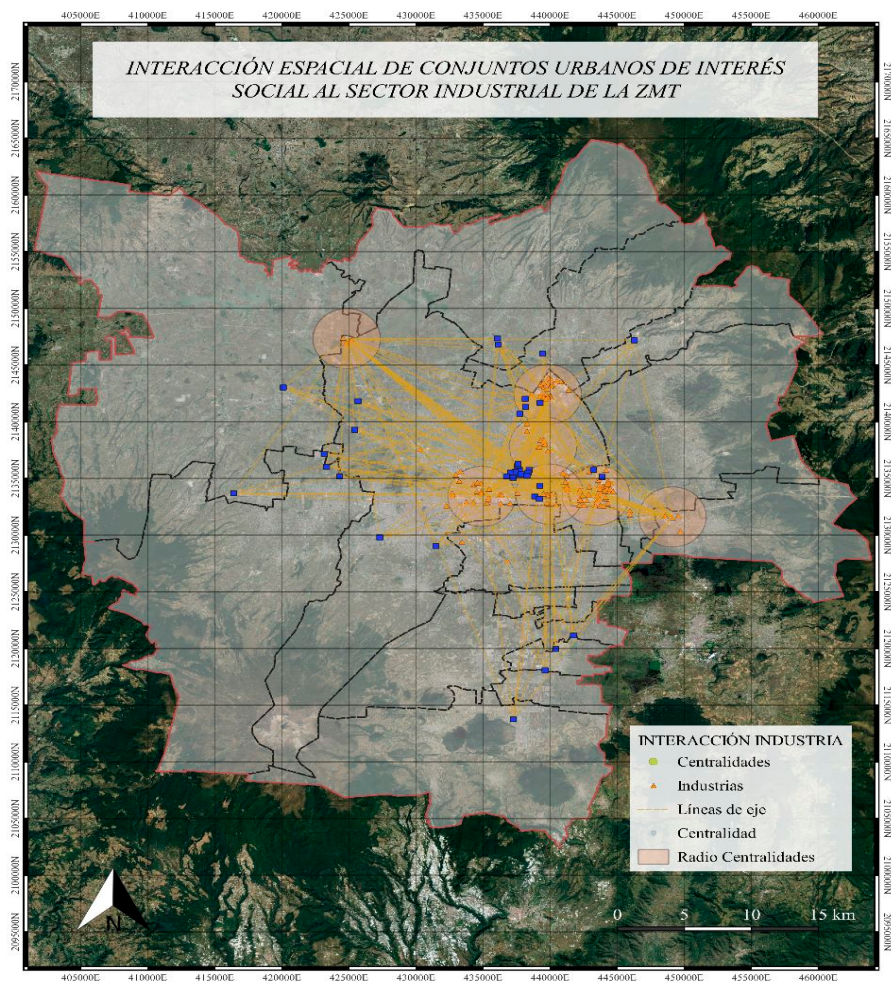
El análisis detallado en el DENUE (2022) sirvió de apoyo y sustento para identificar y clasificar las principales centralidades por tipo de actividad económica, como administrativa, parques industriales, sistema de salud, educación y abasto. Se fijó un radio de influencia para delimitar las centralidades principales con relación a la localización de los conjuntos urbanos de interés social de toda la ZMT. En mapeo se ejecutaron tres elementos: 1) la localización de parques industriales principales, centros de salud públicos, centros administrativos, educacionales y de abasto; 2) localización de conjuntos urbanos, y 3) la determinación del radio de la centralidad próxima por tipo. Una vez marcados estos tres elementos se comenzó con el proceso de medición de distancias en kilómetros y tiempo de recorrido, entre los conjuntos y las diferentes centralidades, como se muestra en las figuras 4, 5 y 6. Consideradas como líneas de deseo entre las centralidades y conjuntos habitacionales, modelo basado en Biosca, 2023, p. 229).

**Figura 4. Interacciones entre los conjuntos urbanos de interés social hacia las principales centralidades administrativas de la ZMT.**



Fuente: elaboración propia con base en datos del Inegi.

**Figura 5. Interacción espacial de conjuntos urbanos de interés social hacia el sector industrial de la ZMT.**



Fuente: elaboración propia con base en datos del Inegi.

En estos mapas se exponen todas las posibles interacciones espaciales y líneas de deseo de recorridos o desplazamientos que puede hacer la población que habita en estos complejos habitacionales hacia las principales centralidades industriales, administrativas, escolares, salud y de abasto de la ZMT. En este mapeo se observa la





En este ejemplo, se observa que una distancia aproximada de 8 km es lo que cada persona recorre desde su vivienda en los distintos conjuntos habitacionales de la ZMT al centro de la ciudad. Al igual que en el ejemplo anterior se hizo el cálculo correspondiente conforme a la metodología presentada. Este tiempo oscila en los 100 minutos por viaje y, de igual manera, el sistema de transporte no es eficiente ni accesible y con alto costo en el desplazamiento, por lo que la población más vulnerable se ve afectada.

Como se precisó en estas gráficas son ejemplos hechos en la investigación con la finalidad de exponer el problema señalado. Cabe destacar que los resultados presentados reflejan la falta de accesibilidad urbana en el espacio público y hacia las centralidades principales de los sectores seleccionados, este modelo puede servir como indicador para estudios de factibilidad y diagnóstico en la evaluación de futuras políticas públicas.

## CONCLUSIONES

Como ya se mencionó al comienzo de este capítulo, el objeto de esta investigación era desarrollar un modelo de interacción espacial para determinar el grado de accesibilidad urbana desde conjuntos habitacionales de interés social, ubicados en la ZMT, dicho objetivo se cumplió partiendo desde las teorías, conceptos y marco de referencia, utilizados a lo largo de esta investigación. Es necesario crear entornos equilibrados al exterior de la vivienda, como un componente importante para el desarrollo de sus habitantes, puesto que el exterior es donde las familias realizan diversas actividades e interacciones. Sin embargo, estos entornos se ven como complementos secundarios, como algo ajeno o alejado de las personas, tienen como causa espacios comunes o públicos deshabitados, con altos índices de inseguridad, escasez de accesibilidad en sus servicios o equipamientos.

En esta investigación se hizo notorio que los procesos de desigualdad en la ocupación de los suelos, dejan a los más vulnerables alejados de las centralidades principales, causan problemas económicos debido a los costos de sus desplazamientos y excluyen y segregan desde el territorio. A pesar de toda la problemática, las ciudades deben ser organizadas donde estructuren nuevas centralidades, y deben respetar los rasgos de identidad, usos y costumbres. De esta manera, formarían lugares

y espacios mejor distribuidos, sin altos parámetros de discriminación, integrarían y lograrían que estos conjuntos urbanos de interés social se unan a dinámicas más amigables, accesibles y asequibles para la población que reside en esos espacios.

La concentración de diversas actividades desde las centralidades y su interacción espacial se conjugan con la falta de accesibilidad, de derecho a la ciudad y a la vivienda en sus conjuntos. Por tanto, en su vida cotidiana y urbana, la población hace una reapropiación con sus dinámicas e interacciones en los espacios, apropiándose de nuevas formas de gestión colectiva, aunque la mayoría de estas interacciones son desiguales, segregadas o excluidas de sus centros habitacionales, lo que forma interacciones más complejas, alejadas, con altos costos y gran inversión de tiempo, esto conforma una planeación urbana inaccesible, niega una interacción estable y equilibrada, y deja a un lado el derecho a la ciudad como algo ineludible.

Este tipo de modelos de interacción espacial ayudarán a comprender las dinámicas de la sociedad desde un enfoque objetivo y mostrarán a los tomadores de decisiones las complejidades a las que se enfrenta la población trabajadora, asimismo, sirven como indicadores para un desarrollo social, económico, cultural y político.

## REFERENCIAS

- A. Fotheringham, M. E. (1989). *Spatial Interaction Models: Formulations and Calibrations*. Springer. Kubler Academia Publishers.
- Alonso, F. (2016). *Los ejes determinantes de las políticas de igualdad de oportunidades, la accesibilidad universal y el diseño para todos*. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Beuf, A. (07/01/2019). Centralidad y policentralidad urbanas: interpretaciones, teorías, experiencias. *Espiral*, pp. 131-135. S. B. Universidad Nacional de Colombia. DOI: <http://dx.doi.org/10.15381/espiral.v1i2.17135>
- Biosca, S. A. (01-04/2023). Patrones de viajes por motivo de trabajo, escuela y compras en la Zona Metropolitana de Querétaro. *Estudios Demográficos y Urbanos*. Vol. 38. Núm. 1 (112). El Colegio de México [Colmex], pp. 207-245. DOI: <http://dx.doi.org/10.24201/edu.v38i1.2140>
- Christaller, W. (1966). *Lugares centrales en el sur de Alemania*. [Carlisle W. Baskin, Trad.] 2a ed. Prentice-Hall.

- Espinosa, F. O. (2014). *Vivienda de interés social y calidad de vida en la periferia de la ciudad de Morelia, Michoacán*. UNAM.
- Flores, V. O. (2010). *La crisis de las utopías*. Antropos.
- Garrocho, C. C. (2003). *La dimensión espacial de la competencia comercial*. El Colegio Mexiquense / UAEMEX.
- Garrocho, C. R. (1992). *Localización de servicios en la planeación urbana y regional: aspectos básicos y ejemplos de aplicación*. El Colegio Mexiquense.
- Garrocho Rangel, C. F. y Campos Alanís, J. (2006). Un indicador de accesibilidad a unidades de servicios clave para ciudades mexicanas: fundamentos, diseño y aplicación. *Economía, sociedad y territorio*. El Colegio Mexiquense.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi]. (25/09/2022). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas [DENUE]. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>
- Iracheta, C. (2013). Expansión metropolitana y producción habitacional en la Zona Metropolitana de Toluca. En Medina, C. S. *Contribuciones al estudio de las ciudades, el Estado de México y el suelo urbano*. El Colegio Mexiquense.
- Linares-García, J., Hernández-Quirama, A. y Rojas-Betancur, H. M. (2018). Accesibilidad espacial e inclusión social: experiencias de ciudades incluyentes en Europa y Latinoamérica. *Civilizar: Ciencias Sociales y Humanas*. Vol. 18. Núm. 35. Universidad Sergio Arboleda, pp. 115-128.
- ONU-Habitat, I. S. (2018). *Vivienda y ODS en México*. ONU-Habitat, Infonavit, Sedatu. ONU-Habitat. <https://onuhabitat.org.mx/index.php/elementos-de-una-vivienda-adeuada>
- Ramírez Kuri, P. (2013). *Las disputas por la ciudad. Espacio social y espacio público en contextos urbanos de Latinoamérica y Europa*. UNAM.
- Rogerson, P. A. (2015). *Statistical Methods Geography*. Fourth Edition.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Obra [Seduo]. (14/08/2022). [https://seduo.edomex.gob.mx/autorizacion\\_de\\_conjunto\\_urbano](https://seduo.edomex.gob.mx/autorizacion_de_conjunto_urbano).
- Santos Preciado, J. M. (1994). Los modelos de interacción espacial y el análisis de los flujos migratorios interregionales: aplicación al territorio español. *Espacio Tiempo y Forma*. Serie VI, Geografía (7). doi: <https://doi.org/10.5944/etfvi.7.1994.2515>
- Seduo. (23/03/2023). [https://seduo.edomex.gob.mx/conjuntos\\_urbanos](https://seduo.edomex.gob.mx/conjuntos_urbanos).
- Sobrino, J. (2007). Patrones de dispersión intrametropolitana en México. *Estudios Demográficos y Urbanos*. Vol. 22. Núm. 3(66), pp. 583-617. doi: <https://doi.org/10.24201/edu.v22i3.1272>.

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo [UAEH]. (2019). Probabilidad y estadística. Apuntes digitales. UAEH.

Universidad de Valencia. (30/08/2020). Modelos de probabilidad. Distribución exponencial. Universidad de Valencia. <https://www.uv.es/ceaces/base/modelos%20de%20probabilidad/exponencial.htm>

# EL ESPACIO COMPARTIDO Y LA ACCESIBILIDAD UNIVERSAL EN EL ENTORNO URBANO

Eska Elena Solano Meneses

## INTRODUCCIÓN

Los comienzos del concepto urbano *espacios compartidos* (*shared spaces*) tuvieron lugar hacia 1985, en Oudehaske, una pequeña aldea en los Países Bajos, en donde Hans Monderman propone la eliminación de señales en las vialidades para propiciar la integración entre los espacios peatonales y los vehiculares (Porto Schettino y Pozueta Echávarri, 2008); a partir de esa intervención se hacen esfuerzos aislados en distintas poblaciones, principalmente de Países Bajos, para lograrlo.

La propuesta teórica de los espacios compartidos surgió hace 20 años, cuando Ben Hamilton-Baillie propone un nuevo enfoque de la ciudad, diluyendo la separación existente entre los espacios de movilidad por el tipo de desplazamiento, al reconocer la diversidad, para visibilizar con ello a peatones, ciclistas, motociclistas, usuarios de sillas de ruedas, etc., de forma que se pueda incorporar el enfoque de accesibilidad universal.

El concepto toma relevancia en 2004, cuando la Unión Europea (UE) consolida el concepto *shared space*, al impulsar un proyecto que abarcó hasta 2008, con siete proyectos piloto en Alemania, Bélgica, Dinamarca, Holanda e Inglaterra (Porto Schettino y Pozueta Echávarri, 2008).

En el contexto actual, pospandémico, y en el marco de tratados internacionales que buscan la inclusión y la protección de los derechos de todos, los principios ahí desarrollados cobran pertinencia, por lo que el objetivo de este trabajo es analizar la teoría de los espacios compartidos y su relación con la accesibilidad universal en el entorno urbano.

La metodología desarrollada en este trabajo consiste en un análisis teórico-práctico desde dos ejes:

- a) Eje longitudinal, con el que se desarrolla una construcción histórica sobre el espacio compartido, desde una perspectiva teórica y práctica, abundando en las experiencias e intervenciones realizadas.
- b) Eje transversal, cuando sea posible la revisión del contexto actual, a través del análisis de casos de implementación práctica en espacios urbanos en diferentes lugares el mundo.

Este trabajo se fundamenta en la referencia antropológica del concepto del espacio compartido, desarrollado sobre todo en Europa occidental, ya que las propuestas centran su análisis en el comportamiento de las personas, así como en ritos y prácticas culturales de las dinámicas urbanas propias de cada espacio. Estos contextos culturales definen las relaciones y la manera en que estas se desarrollan en el entorno urbano, por lo que su visión no se limita a una mirada de eficiencia funcional, sino que trasciende a una mirada antrópica.

Los resultados de este trabajo muestran la evolución que ha tenido el concepto de espacios compartidos, y la manera en que se reinterpreta a la luz del contexto de la pandemia, sobre todo desde el enfoque de la accesibilidad universal, esto trasciende al sustentar la eliminación de barreras, no sólo en teorías centradas en la diversidad, sino en la calidad de vida de los habitantes de un entorno urbano.

Como conclusión, resalta la necesidad de reflexionar acerca de los paradigmas de los que emergen las actuales propuestas urbanas, deconstruir las para descifrar las intenciones primarias —muchas veces capitalistas y capacitistas— y la distancia que tienen con la accesibilidad universal.

## ANTECEDENTES

### *Los espacios compartidos (shared spaces) y el entorno urbano*

El concepto de espacios compartidos tiene muchas similitudes con la terminología urbana de corte social, como el espacio público, las zonas de encuentro, las zonas compartidas, los *urban commons* y demás propuestas que buscan evitar la segregación y la exclusión en la ciudad.

Este mismo término se había utilizado para definir la propiedad y no su uso, como ocurrió en fraccionamientos y calles residenciales en Reino Unido hacia las últimas

décadas del siglo xx (Ruiz-Apilánez, Karimi y García-Camacha, 2017); en ese contexto un espacio compartido era un espacio en condominio o en copropiedad, pero no se refería al uso compartido con el significado que se le da hoy.

En la actualidad, entendemos los espacios compartidos como propuestas urbanas y sociales que se inspiran en nuevos paradigmas de uso de los espacios comunes, que con un concepto de inclusión, no priorizan a ningún tipo de usuario, especialmente, procuran el cuidado de los grupos que la ciudad moderna más ha vulnerado: los peatones, los ciclistas, los usuarios de sillas de ruedas, las personas con discapacidad visual, las infancias, las personas adultas mayores y las mujeres.

En esta propuesta se busca eliminar la separación que existe en los espacios viales por el tipo de desplazamiento o movilidad, se busca eliminar la discriminación existente entre vehículos y transeúntes no motorizados, en el que estos últimos representan una diversidad desde el enfoque de accesibilidad universal (véanse imágenes 1 y 2).

Este paradigma de urbanismo inclusivo permite encontrar ciertas asociaciones entre los espacios compartidos y la accesibilidad universal, pues esta prioriza los criterios de diversidad de los usuarios, la eliminación de barreras y pugna por un diseño universal que posibilite la inclusión, sobre todo, de grupos vulnerados en las ciudades.

Por ello, el objetivo de este trabajo es analizar los fundamentos teóricos de los espacios compartidos y su relación con la accesibilidad universal en el entorno urbano, a través de un estudio bidimensional que se concrete en un análisis de las propuestas desarrolladas a nivel nacional e internacional.

**Imagen 1. Desarrollo de conceptos de espacios compartidos en Lima, Perú**



Fuente: Solano, 2022.

## Imagen 2. Desarrollo de conceptos de espacios compartidos en Lima, Perú



Fuente: López, 2022.

### LA ACCESIBILIDAD UNIVERSAL Y EL ENTORNO URBANO

De acuerdo con Ciudad Accesible (2013), una organización chilena surgida en el año 2000, la accesibilidad universal es una condición a la que deben estar sujetos los entornos, los productos, los servicios, la comunicación, la información, los objetos, etc., para que puedan ser usados y comprendidos por todas las personas, considerando su más amplia gama y cuidando siempre la seguridad, la comodidad y la autonomía.

Desde este criterio, la accesibilidad universal resulta una condición esencial en el entorno urbano, al constituirse este como un espacio donde convive una alta densidad de población, cuyas actividades incluyen lo comercial, lo educativo, lo laboral, lo cultural, la salud, la seguridad, entre otras. Por lo tanto, es importante reconocer que para que la totalidad de la población pueda participar en este tipo de actividades que tienen lugar en la ciudad, resulta indispensable la difusión y consolidación de todos y cada uno de los principios de la accesibilidad universal.

Aunque la ciudad, para su estudio, se ha de dividir en infraestructura, equipamiento y zona habitacional resulta fundamental reconocer que la accesibilidad universal es un criterio que debe atravesar cada uno de estos rubros: la infraestructura (vialidades, servicios de agua, de drenaje, de electricidad, de internet, etc.); ha de considerar a la diversidad de sus usuarios, de igual forma como debe hacerlo el equipamiento (escuelas, hospitales, centros de trabajo, comercios, industrias, etc.) y las zonas habitacionales (fraccionamientos, departamentos y casas habitación).

## METODOLOGÍA

La metodología consiste en un análisis teórico-práctico que se desarrolla desde dos ejes:

- a)* Eje longitudinal, en el que la mirada refiere a una construcción histórica de las propuestas teóricas y prácticas sobre el espacio compartido, abunda sobre las experiencias e intervenciones hechas con la intención de encontrar en sus raíces los fundamentos sociales que permitan comprender los antecedentes antrópicos de los enfoques urbanos anteriores.
- b)* Eje transversal, con el que las categorías de análisis puedan revisar el contexto actual, tanto a nivel teórico filosófico como de implementación práctica en espacios urbanos en el mundo, y de este modo construir una mirada prospectiva de los fundamentos sociales e inclusivos que necesitan fortalecimiento en los entornos urbanos.

Ambos enfoques permiten asegurar un análisis multidimensional de la relación social que existe entre la propuesta urbana de los espacios compartidos y los principios de la accesibilidad universal que cuestionan el entorno urbano con relación a su principal habitante que es el ser humano.

## DESARROLLO

### *Construcción histórica de las propuestas teóricas y prácticas sobre el espacio compartido*

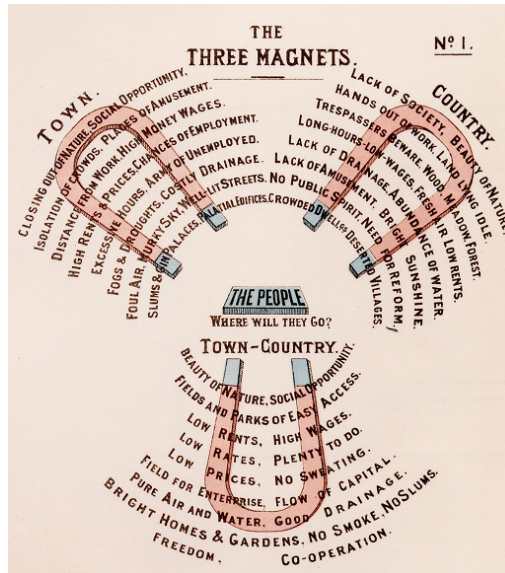
Esta propuesta urbana, cuya primera práctica en Europa corresponde al comienzo de este siglo, propugna por una nueva concepción espacial en las vialidades, cuyo principio básico es el respeto hacia la diversidad de usuarios, sobre todo de los peatones (Shared Space Institute, 2009). Con este concepto no transporte-céntrico, se cuestiona el diseño en el que el eje protagonista habría sido el automóvil, que definió el desarrollo de la ciudad moderna desde finales del siglo XIX, como lo vemos en la ciudad lineal.

Aunque no obedece a los mismos principios, sí pone en el centro la calidad de vida, con propuestas urbanas del siglo XIX y del siglo XX, como la ciudad jardín y las supermanzanas; modelos que ya establecían la necesidad de generar vialidades de baja velocidad para asegurar el tránsito peatonal y la convivencia social en los espacios públicos.

La propuesta de ciudad jardín fue impulsada por Ebenezer Howard hacia 1898, y desde su perspectiva presentaba un modelo para desarrollar las ciudades futuras. Al igual que el concepto de espacios compartidos, la base principal de este autor eran las organizaciones sociales, lo que obligó a que su propuesta fuera considerada como una utopía teórica (Urban Networks , 2016).

La ciudad jardín establecía una relación entre la calidad de vida, el espacio urbano y su crecimiento moderado, esto se determinó con planteamientos espaciales que se comprometían con la posibilidad de regular las condiciones ideales y el mantenimiento del lugar en proporción con el número de pobladores (bajo crecimiento), que se aproximaba a densidades rurales. Su fundamento tiene base en lograr las ventajas de un modelo social que facilite una vida menos acelerada (propia del entorno rural) en un entorno urbano, combinando formas de vida ciudadinas con las del campo (véase imagen 3), y promueva el desarrollo de vínculos sociales como los de las zonas de baja densidad poblacional, y con el aprovechamiento de las ventajas de vivir en cercanía con la naturaleza (Lewicz-Więclaw, 2021).

Imagen 3. Consideración de los componentes de un espacio urbano y uno rural para la propuesta de ciudad jardín

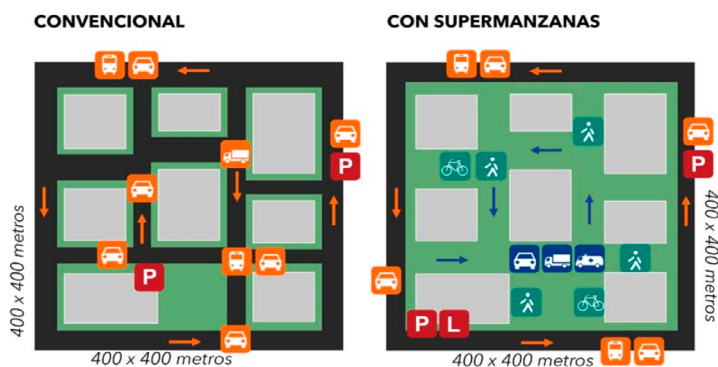


Fuente: <http://urban-networks.blogspot.com/2016/02/el-modelo-original-de-la-ciudad-jardin.html>

Por su parte, las supermanzanas corresponden a conceptos urbanos de la modernidad, en los que se propone un nuevo orden urbano centrado en la densificación a gran escala de la ciudad, pero enmarcado en espacios delimitados con superficies que oscilan entre 1 600 a 2 500 m<sup>2</sup> (BID Mejorando Vidas, 2015), en los que las grandes vialidades solo serán ubicadas hacia la periferia, con lo que se logra un espacio urbano centrado en el peatón. Esto permite el aprovechamiento del espacio interior de la supermanzana para generar áreas verdes, así como espacios para actividades comunitarias, su carácter centrado en los pobladores confronta las propuestas centradas en las diversas formas de transporte no pedestre (véase imagen 4).

Sus ventajas vislumbran la inclusión de los niños, adultos mayores, ciclistas y personas con discapacidad en zonas seguras, que pueden ser transitadas sin intervención de automóviles. Las supermanzanas tuvieron origen en propuestas hechas en Alemania en el primer tercio del siglo xx, entre sus autores destacan Bruno Taut, Martin Wagner y Hans Scharoun, con una clara influencia socialista (Sánchez Rueda, 2009).

#### Imagen 4. Contraste entre la ciudad convencional y las supermanzanas



Fuente: <https://tysmagazine.com>

#### *Los espacios compartidos en el contexto actual*

En el contexto actual pospandémico en el que el espacio abierto toma singular relevancia por ser menos propicio para la propagación del virus SARS-COV-2 y en el marco de tratados internacionales que buscan la inclusión y la protección de los derechos de todos, los principios de la teoría de los espacios compartidos se vuelven altamente pertinentes.

La pandemia por covid-19 ha transformado las formas de vida de los habitantes, sobre todo en las grandes ciudades, en las que la densidad de población representó un alto riesgo de contagio y, al mismo tiempo, propició un fuerte aislamiento que ha tenido graves consecuencias, tanto sociales como psicológicas. En este contexto, las propuestas urbanas convencionales se encuentran en crisis, por lo que se proponen nuevos estilos de vida que contribuyan a reforzar el tejido social, que promuevan la inclusión y que mejoren la calidad de vida de las personas.

Se han hecho múltiples intentos por abolir paradigmas funcionalistas y de explotación del espacio urbano de las propuestas urbanas: la peatonalización de las vialidades; la revalorización de los principios del barrio o neobarriarización; el urbanismo táctico (pequeñas intervenciones urbanas de carácter social), que se concreta con el *placemaking* (que pretende el empoderamiento de los ciudadanos en la toma de decisiones); los *urban commons* (que cuestionan los principios de propiedad

en las ciudades), etc.; todos estos se han detonado por la Carta Mundial del Derecho a la Ciudad (ONU-Habitat, 2012), constituyen ejemplos de un nuevo giro social que ha definido el quehacer de los urbanistas en el siglo XXI.

A continuación, se presenta la tabla comparativa (véase tabla 1) que da cuenta de los fundamentos de los espacios compartidos y su relación con propuestas urbanas anteriores, entre ellas tienen similitud por su desapego a propuestas urbanas funcionalistas.

**Tabla 1. Comparativa de propuestas urbanas de carácter social**

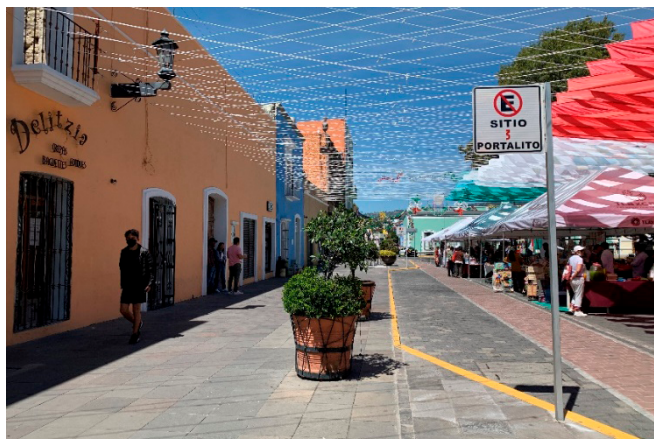
VARIABLES	PEATONALIZACIÓN	NEO BARRIONALIZACIÓN	PLACEMAKING	URBAN COMMONS	ESPACIOS COMPARTIDOS
Principios básicos	Promover al peatón como prioridad en el espacio urbano	Propiciar espacios de encuentro desde una mirada antropológica	Empoderamiento de los ciudadanos en la toma de decisiones en cuanto al uso del espacio urbano	Eliminar los principios de propiedad de la ciudad para generar inclusión	Uso equiparable de las vialidades considerando la diversidad de usuarios y su tipo de movilidad
Implementaciones prácticas	Ampliación de ancho de aceras, incremento de mobiliario urbano	Generación de plazas, andadores y parques para propiciar la convivencia entre los pobladores	Alteración del uso del espacio público, derivado de los acuerdos de la comunidad	Eliminación de la propiedad privada, a través del uso comunitario de bienes y espacios	Eliminación de espacios consignados a un solo tipo de usuario y/o movilidad

Fuente: Solano, 2022

Los espacios compartidos o *shared spaces* conjuntan estos intereses y los amalgaman, suman a ellos la peatonalización de las vialidades, los principios sociales e identitarios y de pertenencia, así como nuevas concepciones de apropiación del espacio urbano.

En la propuesta de *shared spaces*, los espacios viales emplean un mínimo de señalización y fomentan el uso social de las calles, ahora orientadas a las personas y no a los vehículos (véase imagen 5). La manera en que se determina la prioridad de circulación corresponde más a protocolos sociales y reglas de urbanidad, que obligan a los transeúntes a un desplazamiento más lento, lo que genera condiciones más seguras para los habitantes.

### Imagen 5. Propuesta de espacios compartidos en Tlaxcala, Tlaxcala



Fuente: Solano, 2022.

Esta concepción se apoya en fundamentos psicológicos de percepción del riesgo, según las cuales los sentidos se agudizan, los comportamientos se ralentizan y se propician así escenarios de autocuidado y cuidado al prójimo (Adams, 2008). Este efecto se logra con la construcción de espacios limitados, en los que el conductor se sentirá menos seguro y, por tanto, disminuirá la velocidad. El caso contrario se presenta cuando el conductor se desplaza por vialidades amplias, en apariencia, libres de obstáculos, por lo que la velocidad se incrementa.

Las cifras dadas a conocer en México, en la actualidad, muestran un incremento de accidentes viales causados por desplazamientos a altas velocidades (Gutiérrez,

2022). Estos datos señalan que 40% de las personas fallecidas en accidentes viales son peatones, el 70% corresponden a usuarios en situación de vulnerabilidad (peatones, motociclistas y ciclistas). También se señala que la principal causa de fallecimientos en jóvenes y niños son los accidentes automovilísticos (Gutiérrez, 2022).

De esta forma, la propuesta se contrapone a las ciudades centradas en desplazamientos a gran velocidad, orientadas hacia un enfoque productivo y de eficiencia comercial, en que la ciudad se mira como un escenario propicio para el liberalismo económico.

### *Implementación práctica en espacios urbanos en el ámbito internacional*

En el ámbito internacional existen ejemplos importantes de implementaciones urbanas clasificadas como espacios compartidos, cuyas características se describen a continuación (véanse imágenes de la 6 a la 11).

- I. Auckland, Nueva Zelanda
- II. Seattle, Estados Unidos
- III. Londres, Reino Unido
- IV. Calle 107, Medellín, Colombia
- V. Aillavilú, Santiago de Chile
- VI. Ciudad de Luján, Argentina

- I. Auckland, Nueva Zelanda
  - Se ubica en Elliot Street, una de las calles del centro financiero de la ciudad neozelandesa.
  - Se eliminan los bordes de hormigón que separan las calzadas de las veredas para tener una superficie plana.
  - Se borraron las dobles líneas amarillas que estaban en el centro de las calzadas para dividir las pistas.
  - Las medidas de circulación se implementaron hace 12 años y como resultado ha disminuido tanto la velocidad (sobre todo en el día), como el número de unidades que transitan ese sector.

### Imagen 6. Espacios compartidos en Auckland, Nueva Zelanda

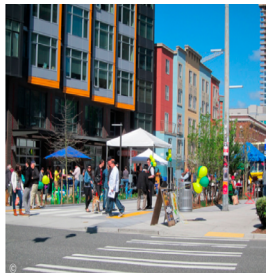


Fuente: [tps://www.archdaily.mx/mx/765511/6-ciudades-en-donde-los-espacios-compartidos-son-un-exito](https://www.archdaily.mx/mx/765511/6-ciudades-en-donde-los-espacios-compartidos-son-un-exito)

### II. Seattle, Estados Unidos

- Se intervino en abril de 2014.
- Está ubicado en Bell Street Park.
- En este lugar, había una superficie que comprendía cuatro bloques que no facilitaban la circulación de peatones, que se transformó en un área de 56 mil m<sup>2</sup> sin desniveles y sin líneas que señalan el espacio de tránsito de los automóviles.
- Se instaló más mobiliario urbano para mejorar la experiencia de los peatones.

### Imagen 7. Espacios compartidos en Seattle, Estados Unidos

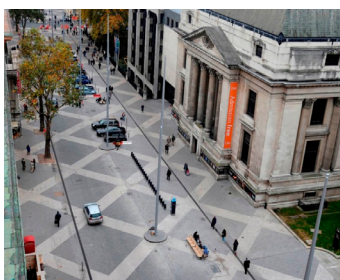


Fuente: <https://www.archdaily.mx/mx/765511/6-ciudades-en-donde-los-espacios-compartidos-son-un-exito>

### III. Londres, Reino Unido

- En la calle Kensington High se angostaron las pistas.
- Se establecieron nuevos cruces y se mantuvo solo un semáforo.
- Como resultado, los accidentes de tránsito han disminuido casi en 50%, al tiempo que ha aumentado la presencia de peatones en 7% y 30% la circulación de vehículos no motorizados.

**Imagen 8. Espacios compartidos en Londres, Reino Unido**



Fuente: <https://www.theguardian.com/artanddesign/2011/nov/11/london-exhibition-road-cultural>

### IV. Calle 107, Medellín, Colombia

- Se trata de una intervención cuyo diseño incluye un paseo peatonal.
- Se mejoraron los espacios públicos existentes asociados a un nuevo parque.
- La propuesta de diseño fortalece la naturaleza peatonal de la calle y ha contribuido al crecimiento de los negocios ubicados a lo largo de la misma.

**Imagen 9. Espacios compartidos en Medellín, Colombia**



Fuente: <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/espacio-publico-6-ideas-para-revitalizar-barrios-el-dia-despues/>

## V. Aillavilú, Santiago de Chile

- Comprendió su semipeatonalización, y se permitía solo el ingreso de vehículos —en horarios regulados—, ingreso a estacionamientos interiores e ingreso de vehículos de emergencia.
- Erradicación de estacionamientos en superficie y reposición de la totalidad de los pavimentos de acuerdo con la imagen tradicional con baldosas de piedra y adoquines.

Imagen 10. Espacios compartidos en Santiago de Chile

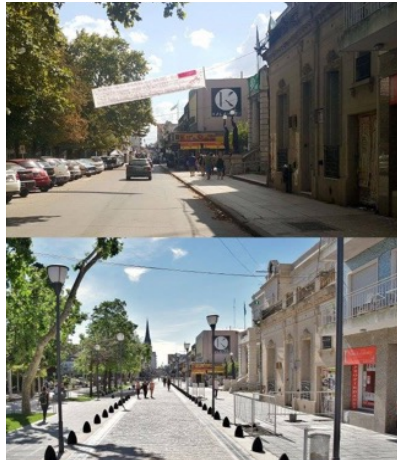


Fuente: <https://www.plataformaurbana.cl/archive/2016/03/27/antesdespues-1-000-imagenes-de-redisenos-urbanos-en-el-mundo-a-favor-de-la-movilidad-sustentable/antes-despues-urbi-santiago-aillavilu-2/>

## VI. Ciudad de Lujan, Argentina

- Se eliminaron los cajones de estacionamiento.
- Se amplió el uso peatonal y de ciclistas.
- Se aminoró el espacio de circulación para vehículos.
- Se eliminó la diferencia de nivel arroyo vial-acera.

**Imagen 11. Espacios compartidos en Luján, Argentina**



Fuente: <https://www.r3dstudio.com/es/el-uso-compartido-de-espacios/>

*Implementación práctica en espacios urbanos en el ámbito nacional*

En México existen también ejemplos en los que se pueden apreciar los conceptos de espacios compartidos, como un área de posibilidad de desarrollo de principios de accesibilidad universal.

I. Centro histórico Azcapotzalco, México

- Se dio prioridad al peatón considerando su diversidad: infancias, gente de la tercera edad y personas con discapacidad.
- Se fomenta la construcción y el uso de ciclovías.
- Se delimita la circulación de vehículos.
- Se eliminan cambios de nivel.

### Imagen 12. Espacios compartidos en Azcapotzalco



Fuente: <https://www.la-prensa.com.mx/metropoli/exigen-a-la-jefa-de-gobierno-frenar-desalojos-de-comerciantes-en-via-publica-de-azcapotzalco-4956534.html>

## II. Proyecto Centro Histórico, CDMX

- Proyecto culminado en 2024.
- El flujo de coches se reducirá a dos carriles.
- Esto dejará en total un espacio de 3 mil m<sup>2</sup> para los peatones.
- Se pretende fomentar nuevos espacios públicos.

### Imagen 13. Espacios compartidos en un proyecto en CDMX



Fuente: <https://mxcity.mx/2020/10/urbanismo-tactico-nuevos-espacios-peatonales-en-el-centro-historico/>

### *Los espacios compartidos y la accesibilidad universal*

Como ya se ha mencionado, la accesibilidad universal implica un enfoque en el que las diferentes condiciones de los usuarios puedan ser atendidas. Con este esquema no es posible concebir el impulso de una peatonalización si no se atienden las necesidades que las personas con discapacidad visual presentan y se brindan espacios para guías tacto-podales para un óptimo uso del bastón blanco; asimismo, se debe considerar la eliminación de desniveles y proponer rampas con pendientes adecuadas (6%) para posibilitar la circulación de personas usuarias de sillas de ruedas, considerando los anchos necesarios y los radios de giro para que se puedan desplazar. Estos ajustes razonables debieran estar presentes en los espacios compartidos, no solo brindan beneficios a las personas con discapacidad visual o a usuarios de sillas de ruedas, también a las infancias y a las personas adultas mayores, para quienes los espacios con escaleras constituyen un riesgo (véase imagen 14).

De la misma manera es importante considerar que la inclusión en los espacios compartidos no debiera limitarse únicamente a los desplazamientos o usos del espacio terrestre, también se deben hacer adecuaciones en la señalética y en todos los códigos utilizados en el espacio urbano, para también hacerlos accesibles para las personas con discapacidad auditiva y con deterioro cognitivo.

**Imagen 14. Espacios accesibles en entornos urbanos de Guadalajara, Jalisco**



Fuente: Solano, 2022.

### Imagen 15. Señalética accesible en calles de Puebla, Puebla



Fuente: Solano, 2022.

Se aprecia así, la pertinencia de sumar a las características de los espacios compartidos, los principios que posibilitan la accesibilidad universal en los espacios urbanos, por lo que se proponen los siguientes principios de diseño:

1. Eliminación en su grado máximo de cambios de nivel, ya sea a través de la supresión de aceras o, en su defecto, la sustitución de los mismos por medio de rampas con una pendiente máxima del 6 por ciento.
2. Consideración de rampas para el acceso de locales aledaños.
3. Delimitación del espacio que usan los automóviles a solo un carril, dando preferencia a los espacios para peatones.
4. Presencia de guardacantones para seguridad del peatón.
5. Abundante iluminación para brindar seguridad, sobre todo a mujeres, para evitar la generación de espacios recónditos o sombreados.
6. Control de vegetación para que no sea un obstáculo para la circulación o el alumbrado.
7. Inclusión de áreas de descanso, preferentemente con posibilidad de sombras.
8. Inclusión de guías tacto podales, a lo largo de todo el trayecto (véase imagen 16).
9. Consideración de mobiliario accesible (bancas, semáforos, etc.) pensado en niños, adultos mayores y personas con discapacidad.

10. Consideración de señalética accesible a través de audio, en Braille y en formato de lectura fácil (alto contraste y macrotipos).
11. Determinación pertinente de texturas en pisos para evitar caídas o resbalones, al mismo tiempo, no inhibir el uso del bastón blanco (evitar que se atore) o que se dificulte el desplazamiento de las sillas de ruedas.
12. Entre el equipamiento, también se debe considerar la instalación de sanitarios accesibles, que respondan a la incontinencia propia de adultos mayores y a las necesidades de personas con discapacidades.

**Imagen 17. Guías podotáctiles en zonas peatonales**



Fuente: Solano, 2022.

**Imagen 18. Textura en pavimentos que inhiba caídas y posibilite la circulación en silla de ruedas**



Fuente: Solano, 2022.

## RESULTADOS

Hoy podemos decir que, si alguna ventaja nos dejó la pandemia, ha sido la oportunidad de repensar los espacios urbanos y darnos cuenta de las condiciones con que estos fueron cómplices de desplazamientos y exclusión. Los espacios urbanos han sido diseñados, hasta ahora, para hacer eficientes las actividades productivas, con lo que la ciudad se valoraba en tanto fuera capaz de propiciar bienes económicos.

También a la pandemia le debemos importantes avances en el conocimiento sobre cómo el espacio puede definir incluso la salud fisiológica y psicológica de sus habitantes.

En este sentido, los resultados del análisis de los espacios compartidos muestran las posibilidades que estas propuestas presentan con el enfoque de accesibilidad universal, que además de incluir la eliminación de barreras, se apoya en teorías centradas en la diversidad y en la calidad de vida de los habitantes de un entorno urbano.

El desarrollo de este trabajo hace hincapié en la referencia antropológica del concepto del espacio compartido, las consecuencias que generó la pandemia en los entornos urbanos, como aislamiento, falta de identidad y falta de pertenencia, hoy se manifiestan en trastornos, como depresión o incluso suicidios, se hace posible la concienciación acerca de la importancia del diseño urbano y sus enfoques sociales.

Estos contextos sociales definen las relaciones humanas, la salud mental y psicológica. Lo que trasciende al sustentar la eliminación de barreras, no solo en teorías centradas en la diversidad, sino en la calidad de vida de los habitantes de un entorno urbano.

## CONCLUSIONES

Existe una necesidad de cuestionar los paradigmas en los que subyacen las actuales propuestas urbanas y la distancia que mantienen con la accesibilidad universal, pues esta constituye un enfoque que se centra en los derechos de las personas, independientemente de su diversidad, para que puedan vivir la ciudad.

Los entornos urbanos, sobre todo en este contexto post pandémico, constituyen un escenario esperanzador, ya que su prospectiva ha de considerar las enseñanzas que la pandemia nos ha dejado. Esta crisis derivada del covid-19 nos ha permitido

valorar los espacios urbanos desde nuevas dimensiones sociales en las que el eje está formado por los usuarios, pero no los estereotipados, sino los diversos, cambiantes y en constante evolución, que deberán ser atendidos teniendo siempre en consideración un amplio abanico de necesidades.

## REFERENCIAS

- Adams, J. (2008). Where and when is shared space safe? *Presentation for Prian Public Realm Course*. <http://johnadams.co.uk/wp-content/uploads/2008/05/shared%20space.pdf>
- BID Mejorando Vidas. (07/01/2015). *Ciudades sostenibles*. <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/supermanzanas/>
- Ciudad Accesible. (09/10/2013). *Accesibilidad universal. Concepto y definiciones*. <https://www.ciudadaccesible.cl/nosotros/#1487068989845-8943fcd0-e5c3>
- Gutiérrez, A. (11/08/2022). *Estadísticas de accidentes de autos en México 2022*. <https://gnpautos.mx/blog/estadisticas-de-accidentes-de-autos/>
- Lewicz-Więclaw, M. (2021). La idea de ciudad-jardín de Ebenezer Howard y su contexto histórico-cultural en Europa y América Latina. *Sztuka Ameryki Łacińskiej*, 109-136. <https://czasopisma.marszalek.com.pl/images/pliki/sal/11/sal1104.pdf>
- ONU-Habitat. (2012). Carta Mundial por el derecho a la ciudad. *Revista Paz y Conflictos*, pp. 184-196. [https://www.ugr.es/~revpaz/documentacion/rpc\\_n5\\_2012\\_doc1.pdf](https://www.ugr.es/~revpaz/documentacion/rpc_n5_2012_doc1.pdf)
- Porto Schettino, M. y Pozueta Echávarri, J. (2008). Los espacios compartidos (*shared spaces*). *Cuaderno de Investigación Urbanística*(59). [https://oa.upm.es/2845/2/INVE\\_MEM\\_2008\\_59439.pdf](https://oa.upm.es/2845/2/INVE_MEM_2008_59439.pdf)
- Ruiz-Apilániz, B., Karimi, K. y García-Camacha, I. (2017). Shared space streets: design, user perception and performance. *Urban Des Int* 22, pp. 267-284. <https://link.springer.com/article/10.1057/s41289-016-0036-2>
- Sánchez Rueda, G. (2009). Origen y desarrollo de la supermanzana y del multifamiliar en la Ciudad de México. *Ciudades*, pp. 143-170. <https://revistas.uva.es/index.php/ciudades/article/view/1254/1061>
- Shared Space Institute. (2009). Shared Space -Final Evaluation and Results. <https://www.yumpu.com/en/document/read/31322722/shared-space-final-evaluation-and-results-it-takes-fietsberaad>
- Urban Networks. (13/02/2016). *El modelo original de la ciudad-jardín (Garden City)*. <http://urban-networks.blogspot.com/2016/02/el-modelo-original-de-la-ciudad-jardin.html>



# MOVILIDAD URBANA NO MOTORIZADA Y SU IMPACTO EN LA ECONOMÍA LOCAL DEL ÁREA URBANA DE TEXCOCO

Israel Gutiérrez Alonso

## INTRODUCCIÓN

Toda ciudad, así como las áreas urbanas municipales, deben fomentar un equilibrio local entre la población y las actividades económicas, recreativas, culturales, etc. Esta característica, al menos en teoría, ofrece a la población la posibilidad de tener acceso a los bienes y servicios de la ciudad, para de esta manera favorecer el derecho a la movilidad e impulsar las unidades económicas (UE). Esta condición del deber ser no es muy común en México, cada día son más las ciudades cuyo crecimiento se da de forma dispersa, desordenada y desconectada de las áreas urbanas consolidadas, esto ha provocado el incremento, sobre todo, de traslados motorizados, lo que acarrea el consumo de recursos económicos, tiempo, horas productivas, etcétera.

Al interior de las ciudades, la oferta de bienes y servicios y la movilidad urbana, se ve comprometida debido a la conformación de aglomeraciones en zonas específicas —el centro de las ciudades—, en las que se localiza el mayor número de UE, equipamientos y servicios, además de una mayor oferta de transporte público; esto ha provocado que en dichas zonas se genere una problemática de movilidad.

Se ha comprobado que la movilidad basada en el automóvil y en un sistema de transporte público desordenado, centralizado y congestionado, no es la solución para la movilidad urbana (Quiroz, 2015). De tal manera, se vuelve necesario implementar otros modos de desplazamiento, como la movilidad urbana no motorizada (MUNOM), mediante los que se pueda tener acceso a los bienes y servicios de la ciudad, con mínimas externalidades negativas.

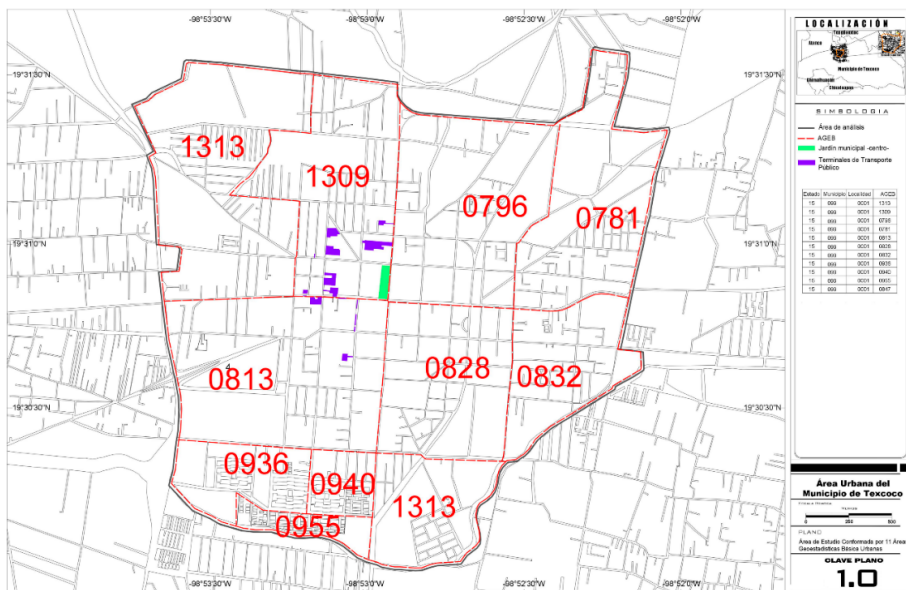
En la presente investigación, la MUNOM es el conjunto de prácticas de desplazamiento peatonal y en bicicleta, que por sus características se encuentran diferenciadas por la velocidad de desplazamiento, la distancia del recorrido y las características físicas de la infraestructura necesaria para llevarlas a cabo. Se reconoce que existen otros tipos de movilidad rodada, como patineta, patines, transportes eléctricos, etc., pero estos se omiten,

pues su uso es sobre todo en actividades recreativas y no un modo común de transporte, además de que la infraestructura para usarlas es la misma que para las bicicletas.

El propósito de la investigación es ahondar en el estudio de la movilidad urbana no motorizada, con el objetivo de identificar el impacto de esta en las UE, con la premisa de hacer recorridos seguros y eficientes, para generar una redistribución de la oferta de bienes y servicios disponibles ante la población.

El estudio de caso se presenta en el área urbana de Texcoco (véase plano 1) en el Estado de México, este municipio tiene una población de 35 491 habitantes (Inegi, 2020) y se clasifica como una ciudad pequeña con pendientes menores a 5%. Su extensión no supera las distancias máximas para desplazamientos peatonales —uno a dos kilómetros— y en bicicleta —tres a cinco kilómetros—. Según el Sistema Urbano Nacional (SUN), se espera que las ciudades pequeñas de 15 000 a 49 999 habitantes sean las más prevalentes, con 254 ciudades existentes en la actualidad (Consejo Nacional de Población, 2018), lo que las convierte en el tipo de ciudad más predominante en el país.

Plano 1. Zona de estudio



Fuente: elaboración propia con datos del Censo de Población y Vivienda 2020, Inegi.

La MUNOM posibilita un modelo de movilidad urbana alternativo al actual y se estructura sobre tres pilares: *I*) lograr que la población camine o utilice la bicicleta para desplazamientos de corta duración menores a cinco kilómetros; *II*) usar el transporte público para los desplazamientos mayores, y *III*) limitar el uso del automóvil en la ciudad (Herce, 2009). En México, la movilidad no motorizada está definida como el conjunto de desplazamientos a pie y a través de vehículos no motorizados (Gobierno del Distrito Federal, 2014) —vehículos que utilizan tracción humana para su desplazamiento—.

El fomento de recorridos peatonales parte de usos mixtos del suelo y ciudades compactas que propician el uso del transporte público y las caminatas (Pucher, 2004). Los desplazamientos no motorizados se impulsan mediante la planeación de las ciudades, sin largos trayectos y con la infraestructura destinada para peatones y ciclistas.

Según las estadísticas de movilidad no motorizada, Europa logra entre un 30 y un 40% de sus desplazamientos, Canadá alcanza el 12%, y Estados Unidos solo el 7% (Pucher, 2004), esto se debe a que las ciudades europeas tienen una mayor densidad urbana y son menos policéntricas que las ciudades estadounidenses. En la actualidad, las ciudades europeas implementan medidas como restricciones a la circulación de automóviles, pacificación del tránsito, carriles exclusivos para bicicletas y autobuses, amplias aceras y zonas libres de automóviles, además de otorgar prioridad al transporte público. En México, se ha demostrado que el 20% de los trabajadores tarda más de tres horas diarias en hacer sus desplazamientos hacia el trabajo y, hasta el 10%, tarda más de cinco horas (BM, 2002), debido al crecimiento disperso y la baja densidad urbana generada por la movilidad basada en vehículos motorizados.

Caminar y andar en bicicleta son formas económicas, seguras y prácticas de aumentar la actividad física, lo que las convierte en estrategias clave para mejorar la salud pública; sin embargo, el sector gubernamental y la población han subestimado su importancia, lo que ha incentivado una asignación desproporcionada de recursos públicos hacia la movilidad motorizada. Esto ha resultado en el abandono del espacio público, calles degradadas sin mantenimiento y falta de infraestructura peatonal.

## MARCO TEÓRICO

El estudio de la MUNOM busca proponer soluciones alternativas a los problemas derivados del uso excesivo del automóvil como modo de transporte en áreas urbanas con crecimiento disperso y baja densidad, en las que el transporte público es ineficiente y la construcción de infraestructura está centrada en el automóvil. Este enfoque ha generado la concentración de la actividad económica en las áreas de la ciudad en las que se encuentran ubicados los equipamientos de transporte, abasto y educación.

Desde la Nueva Geografía Económica (NGE) se analiza y comprende la localización de las UE en la zona de estudio. Esta corriente estudia y explica la formación de los diversos tipos de aglomeraciones económicas en espacios geográficos específicos (Krugman, 1993). Para atraer recursos a las ciudades y configurar economías de aglomeración, se ha creado el modelo “el diamante”, que explica la relevancia de ciertos factores en el desarrollo local, regional y nacional (Porter, 1990).

En la tabla 1 se clasifican los elementos clave de la aglomeración de las UE, con el objetivo de visibilizar los factores determinantes de acuerdo con su diversidad. La teoría de la localización de las actividades económicas señala que la ubicación y centralización de las UE se debe a la concentración de flujos poblacionales, estos son generados por la presencia de medios de transporte público, vialidades de conexión, equipamientos educativos y actividades comerciales, como mercados públicos con la concentración de negocios afines.

**Tabla 1. Elementos clave en la aglomeración de unidades económicas**

ELEMENTO	CONTENIDO
Condición de demanda	Densidad de flujos
Mercado relacionado o de apoyo	Concentrado y diversidad de negocios afines
Equipamientos	Centralización de modos de movilidad, vialidades, educación, esparcimiento, conexión con urbanizaciones y servicios públicos
Contexto natural	Topografía, factores ecológicos y elementos naturales

Fuente: elaboración propia con base en Porter (1990) y Flores (1957).

La variable distancia es clave en la aglomeración y representa costos para los clientes y proveedores de servicios. A mayor distancia, los costos en términos de esfuerzo, recursos y tiempo se incrementan (Polése, 1998). Por lo tanto, es importante que las UE estén accesibles en términos de distancia y tiempo para reducir los costos, tanto para consumidores como para proveedores. Facilitar modos de movilidad urbana eficientes para tener acceso a las UE puede contribuir a la reducción de costos y mejorar la accesibilidad de la población.

La centralidad es un elemento clave de la aglomeración y se define con dos aspectos: el centro geométrico y el agrupamiento de la oferta de bienes y servicios. Tener acceso al centro implica un mayor consumo de tiempo para el comprador, aunque pueda realizar varias actividades allí mismo. Por lo tanto, es importante facilitar el acceso al centro y a todo el territorio urbano, para minimizar las externalidades negativas derivadas de los desplazamientos (Flores, 1957). Fomentar los modos no motorizados de transporte puede desincentivar el uso del automóvil y mejorar la apropiación del espacio público.

Los consumidores están dispuestos a asumir costos de desplazamiento en relación con la importancia financiera y la frecuencia de consumo de los productos o servicios que desean adquirir. Por otro lado, los productos de consumo frecuente y bajo costo, como los de la canasta básica, se benefician de una mayor accesibilidad. En este sentido es recomendable que los negocios se ubiquen de manera repartida en el territorio, tomando en cuenta la accesibilidad de la población mediante la MUNOM.

Fomentar modos de desplazamiento no motorizados puede mejorar la calidad de los espacios públicos y promover su uso y apropiación, lo que tendrá un impacto positivo en los negocios locales, la seguridad pública y la integración social. Esto será beneficioso para la economía de los negocios locales, pues mejora su visibilidad y accesibilidad mediante una redistribución territorial más efectiva para satisfacer las necesidades de la población vecina.

Por otra parte, en la actualidad se trata de impulsar la MUNOM mediante la creación e implementación de planes de movilidad no motorizada, leyes y reglamentos que incentiven el uso de la bicicleta y los desplazamientos peatonales, a pesar de ello no se ha logrado tener una incidencia drástica en su uso como modo de movilidad cotidiano.

Se analizaron los planes de Barcelona y Ámsterdam como ejemplos internacionales de avances en movilidad no motorizada. Barcelona fue elegida por su accesibilidad a

fuentes de información y su conocimiento previo; mientras que Ámsterdam es una ciudad referente a nivel mundial en este ámbito. Ambas ciudades han sido clasificadas en los primeros lugares del Índice Copenhague de ciudades amigables con la bicicleta (Colville-Andersen, 2019), un indicador internacional que evalúa las políticas de desarrollo para el uso de la bicicleta como medio de transporte.

Asimismo, se llevó a cabo una identificación a nivel nacional de la MUNOM en México y se encontró que solo cinco estados tienen una secretaría de movilidad: Ciudad de México, Colima, Estado de México, Jalisco y Morelos. Esto corrobora que aún se considera a la movilidad como el transporte de personas y bienes. De igual manera, se analizaron los planes de movilidad no motorizada de las capitales de los estados centrales del país: Toluca, Guadalajara, Puebla y Ciudad de México, y el plan de movilidad de la ciudad de León debido a su enfoque integral, con la meta de identificar los objetivos, estrategias o líneas de acción que fomentan la MUNOM.

#### *Directrices catalanas sobre MUNOM*

En Barcelona se considera la movilidad urbana como un sistema interconectado entre peatones, ciclistas y usuarios del transporte público (Ayuntamiento de Barcelona, 2014). Sus planes buscan garantizar niveles de calidad similares en todas las zonas geográficas con mínimas externalidades negativas.

Entre las directrices centradas en la MUNOM están favorecer el cambio modal a modelos sostenibles, reducir los desplazamientos en vehículos motorizados, garantizar movilidad segura para minimizar accidentes viales, eliminar los sitios peligrosos, contribuir en la reducción del impacto atmosférico, promover una movilidad equitativa y una movilidad eficiente que contribuyan al dinamismo económico y a la reducción de los tiempos de traslado.

Las directrices están concentradas en promover la movilidad peatonal, en bicicleta y en transporte público, pues se les considera modos sostenibles de movilidad, debido a que generan mínimas externalidades negativas, como contaminación atmosférica, ruido, accidentes, congestionamiento vial, etcétera.

### *Parámetros de los Países Bajos sobre MUNOM*

En Ámsterdam, el uso de la bicicleta está determinado por la implementación de disposiciones específicas para este tipo de transporte, que tiene influencia en diversos aspectos sociales (Ministerio de Transporte, Obras públicas y Gestión del Agua, 2009). Su política de transporte integral se centra en los siguientes objetivos:

- Establecer circuitos no motorizados a partir de los accesos a la ciudad más utilizados por los ciclistas y peatones, en conexión con destinos comunes como fuentes de trabajo, sitios educativos, transporte público y comercio.
- Facilitar el uso de la bicicleta mediante infraestructura como biciestacionamientos, rampas, semáforos ciclistas y señalamientos, así como brindar seguridad a través de ciclovías, calles de prioridad invertida y calles con límite de velocidad de 30 km/h para minimizar accidentes y resolver cruces peligrosos.
- Inhibir el robo de bicicletas mediante la planificación estratégica de biciestacionamientos en lugares concurridos, con una separación de 150 a 300 metros. La solución al robo de bicicletas también debe incluir la educación y la cultura.
- Planear circuitos no motorizados que fomenten la cohesión, rectitud, atractivo, seguridad y confort de los usuarios, con responsabilidad municipal.
- Fomentar la interconexión entre la movilidad peatonal, el uso de la bicicleta y el transporte público.

Con base en el contexto europeo de MUNOM, en la tabla 2, se muestran los principales componentes de análisis que se toman en consideración para la planeación de la movilidad urbana no motorizada. El componente de unidades económicas y el estacionamiento gratis no se toman en cuenta en su análisis, ya que no representan problemáticas en su entorno o están distribuidos en el territorio.

**Tabla 2. Elementos conformadores de los planes de MUNOM en el contexto Europeo**

MOVILIDAD PEATONAL Y CICLISTA		CONTEXTO EUROPEO		
Eje estratégico	Componente de análisis	Barcelona	Ámsterdam	Índice Copenhague
Patrón de viaje	Flujos peatonales	√	-	-
	Flujos ciclistas	√	√	√
Orígenes	Población / vivienda	√	√	√
Destinos	Transporte público	√	√	√
	Unidades económicas	-	-	-
	Equipamiento	√	√	√
Accesibilidad	Peatonal	√	-	-
	Ciclista	√	√	√
Estacionamientos	Estacionamientos gratis	-	-	-
	Parquímetro	√	√	-
	De cuota	√	√	-
Morfología vial	Infraestructura y traza	√	√	√
Seguridad vial	Sitios peligrosos	√	√	√

Fuente: elaboración propia con base en el Marco de Referencia Europeo, 2022.

### *Planeación de la MUNOM en México*

De acuerdo con los objetivos y ejes de los planes de movilidad de las ciudades de Toluca (Monterrubio, 2015), Guadalajara (Gobierno de Jalisco, 2010), Puebla (Secretaría de Transportes de Puebla, 2014), Ciudad de México (Semovi, 2013) y León (Implan, 2009), se obtuvieron las directrices centradas en fomentar la MUNOM como modo de desplazamiento, estas son seguridad vial con la reducción de accidentes, accesibilidad a la movilidad con bajos costos, multimodalidad de desplazamientos y sustentabilidad ambiental.

Con base en lo anterior, se determinaron los siguientes ejes: calles para todos, seguras y funcionales, mediante la jerarquía de movilidad; sistema integrado de transporte —eficiente, barato y accesible—; cultura de movilidad mediante desplazamientos multimodales, y desarrollo orientado al transporte, con la estructuración de los desplazamientos y una política de planeación urbana.

A partir del análisis anterior, los componentes se establecieron en factores cuantificables de análisis urbano, con el fin de obtener parámetros que determinen las características a seguir en la conformación de la movilidad urbana no motorizada.

Sistema zonificado: la planificación de la MUNOM se basará en las características diferenciadas de cada zona del área de estudio, como es la densidad poblacional, infraestructura de movilidad, morfología vial y ubicación de rutas de transporte público.

Movilidad eficiente: la MUNOM debe ser eficiente en tiempo y distancia con respecto al transporte público y el vehículo particular. Será congruente con las distancias máximas de recorridos peatonales y ciclistas, así como con los flujos existentes.

Movilidad segura: generación de una red de circuitos seguros para peatones y ciclistas, con la meta de cumplir la visión cero en los accidentes automovilísticos.

Accesibilidad a unidades económicas: la red MUNOM propiciará el acceso a las UE de acuerdo con su localización y propiciará una redistribución de estas en el territorio para fomentar su accesibilidad.

A continuación, en la tabla 3 se presentan los componentes de análisis de la MUNOM para el contexto mexicano, se aprecia que los planes analizados consideran todos los componentes en, al menos, una ocasión, y plantean posibilidades de solución para el entorno en el que se encuentran. Los planes de la Ciudad de México y Puebla son los más completos, ya que analizan la mayoría de los componentes, 10 de 13.

**Tabla 3. Elementos conformadores de los planes de MUNOM en el contexto mexicano**

MOVILIDAD PEATONAL Y CICLISTA		CONTEXTO MEXICANO				
Eje estratégico	Componente de análisis	Ciudad de México	León	Guadalajara	Puebla	Toluca
Patrón de viaje	Flujos peatonales	√	√	√	-	√
	Flujos ciclistas	√	√	√	√	√
Orígenes	Población / vivienda	√	√	√	√	√
Destinos	Transporte público	√	√	√	√	√
	Unidades económicas	-	√	-	√	-
	Equipamiento	-	√	-	√	√
Accesibilidad	Peatonal	√	-	√	-	√
	Ciclista	√	√	√	√	√
Estacionamientos	Estacionamientos gratis	-	-	-		-
	Parquímetro	√	-	-	-	-
	De cuota	√	-	-		
Morfología vial	Infraestructura y traza	√	√	√	√	√
Seguridad vial	Sitios peligrosos	√	-	√	√	-

Fuente: elaboración propia con base en el Marco de Referencia Mexicano, 2022.

## METODOLOGÍA

Al análisis de la movilidad peatonal y en bicicleta se le aplicó el método analítico, que distingue las diferentes partes de un todo y procede a la revisión ordenada y separada de cada uno de los elementos que la componen (Gutiérrez y González, 1990), a partir del análisis es necesario su complemento, que es la síntesis o recomposición. Al analizar

o descomponer el objeto de estudio, que es la movilidad urbana no motorizada, se le deconstruye en el proceso de análisis, por lo tanto, es necesaria su reconstrucción por medio de la síntesis. De esta manera, la síntesis culmina en el análisis y forma una unidad concreta (Roseltal y Ludin, 1979).

Se elaboraron las tablas 4 y 5 con base en el marco teórico que detalla el método de investigación para peatones y ciclistas. Estas tablas incluyen ejes estratégicos, componentes de análisis, técnicas de investigación y objetivos para cada parámetro. Se usó esta metodología para analizar la zona de estudio y determinar los factores que influyen en MUNOM y su impacto en la ubicación de las unidades económicas.

Las tablas 4 y 5 están compuestas de la siguiente manera: el eje estratégico se refiere al concepto clave que es la guía de análisis del apartado, de esta manera permite dirigir y enfocar la investigación, el eje se puede subdividir para estudiar elementos específicos que lo conforman. El segundo elemento es el componente, que es la especificidad del eje, se refiere a las diferentes partes o aspectos que se consideraron al analizar el eje estratégico, su elección dependió de los objetivos específicos de la investigación y de las características de la zona de estudio. A partir del componente y el objetivo específico de investigación se determinó la técnica de análisis más adecuada; las técnicas responden, principalmente, a un análisis cuantitativo del componente. Con base en este enfoque, se recopiló y analizó información para identificar patrones, tendencias y relaciones entre las diferentes variables que conforman la zona de estudio. Finalmente, los objetivos están centrados en conocer la interrogante específica de cada componente que contribuye al análisis, diagnóstico y propuesta de solución a la problemática planteada.

El enfoque de la investigación es de corte cuantitativo, que se centra en medir los efectos de la MUNOM en la localización de las UE y determinar la incidencia en términos de accesibilidad y ventas. Para ello, se estableció la técnica de mapeo georreferenciado, que es la geocodificación de los componentes en mapas digitales con el fin de identificar patrones y tendencias en su distribución territorial a partir de la información proporcionada por Inegi. Estos mapas se superponen para identificar las relaciones entre los diferentes componentes de análisis. A partir de ello, se puede clasificar el territorio para generar estrategias de acuerdo con cada zona, para que el funcionamiento de la MUNOM sea eficiente, segura y cree las condiciones necesarias para la redistribución de las unidades económicas locales.

**Tabla 4. Método de análisis de la movilidad peatonal en el área urbana de Texcoco**

EJE ESTRATÉGICO	COMPONENTE	TÉCNICA	OBJETIVOS
Orígenes	Población / vivienda	Mapeo de la población y vivienda	Identificar los orígenes de los flujos
Destinos	Transporte público	Mapeo de rutas y terminales	Identificar rutas y terminales Clasificar su accesibilidad
	Unidades económicas	Mapeo de las UE	Ubicar y categorizar de acuerdo con sus empleos (destinos)
	Equipamiento	Mapeo de escuelas	Mapear escuelas como destinos
Accesibilidad en desplazamientos	Peatonal	Mapeo	Determinar la tipología de vialidades y accesibilidad
Estacionamientos públicos	Estac. en calle / <i>parking</i> / cuota	Mapeo de los estacionamientos	Analizar la relación entre los estacionamientos y las UE

Fuente: elaboración propia, con base en el Marco de Referencia Europeo y Mexicano, 2021.

**Tabla 5. Método de análisis de la movilidad en bicicleta en el área urbana de Texcoco**

EJE ESTRATÉGICO	COMPONENTE	TÉCNICA	OBJETIVOS
Orígenes	Población / vivienda	Mapeo de la población y vivienda	Identificar los orígenes de los flujos
Destinos	Unidades económicas	Mapeo de las UE	Ubicar y categorizar de acuerdo con sus empleos –destinos–
	Equipamiento	Mapeo de escuelas	Localizar escuelas como destinos
	Transporte público	Mapeo de rutas y terminales	Identificar rutas y terminales para la localización de biciestacionamientos
	Bici-estacionamiento	Localización de sitios	Determinar su ubicación por su visibilidad, seguridad y destinos
Accesibilidad a desplazamientos	Ciclista	Mapeo	Determinar la tipología de vialidades y accesibilidad al área urbana
Estacionamientos públicos	Estac. en calle / <i>parking</i> / cuota	Mapeo de los tipos de estacionamiento	Analizar la relación entre los estacionamientos y las UE

Fuente: elaboración propia, con base en el Marco de Referencia europeo y mexicano, 2021.

## FACTORES DETERMINANTES DE LA MOVILIDAD URBANA NO MOTORIZADA

### *Orígenes de desplazamientos*

Las zonas densamente pobladas funcionan como zonas de origen de los desplazamientos peatonales y ciclistas (Instituto para Políticas de Transporte y Desarrollo, 2011). La MUNOM debe considerar dichas zonas como puntos de origen de sus desplazamientos, dado que todos sus traslados comienzan y terminan en el origen, que en este caso son las zonas habitacionales.

A partir del análisis, se identificó que las zonas con mayor densidad poblacional se encuentran localizadas en las unidades habitacionales creadas en las décadas de los setenta y noventa, con entre 193 a 565 habitantes por manzana. El resto de las densidades se encuentra relativamente repartido en el área urbana de Texcoco. A partir de las zonas densamente pobladas se determinó un radio de acción peatonal de 1 km, equivalente a 15 minutos de caminata, lo que permite una cobertura del 75% del área de análisis. Esto sustenta la posibilidad de fomentar trayectos peatonales, así como recorridos ciclistas debido a su radio de acción, 3 a 5 kilómetros.

### *Transporte público motorizado*

Uno de los principales obstáculos que afecta la movilidad en el área urbana de Texcoco es el transporte público concesionado. Sus terminales se encuentran ubicadas a dos cuadras del centro de la ciudad, lo que causa congestión vehicular y un aumento del flujo peatonal en la zona. Esta centralidad, que involucra a las 15 terminales existentes, se localiza en el uso de suelo de Centro Histórico Cultural (CHC) que constituye el 20% de la zona de estudio. Es preciso organizar e incorporar las rutas de salida y llegada del transporte público a la planeación de la MUNOM.

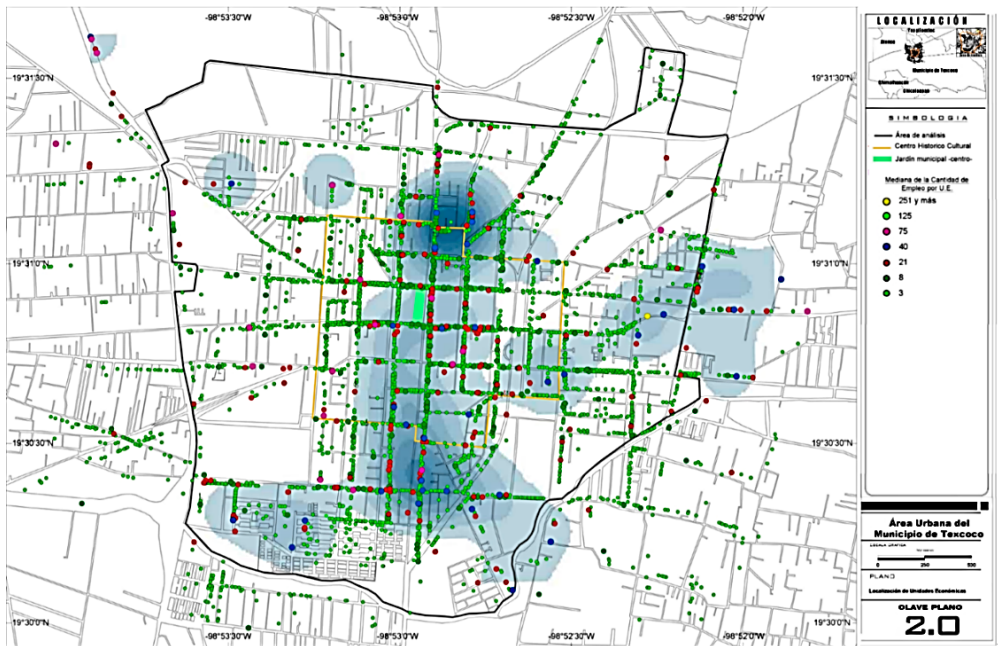
### *Unidades económicas urbanas*

De acuerdo con el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas, el área de análisis cuenta con 5 112 UE (véase plano 2), localizadas en el centro geográfico de la zona de estudio. El 59.9% de ellas se ubican en el uso de suelo de CHC con una extensión territorial de 114 hectáreas, aproximadamente. Esto ha generado una

distribución desequilibrada de las UE en el territorio, y ha generado desplazamientos hacia el centro de la ciudad para la adquisición de bienes o servicios.

En el plano 2 se aprecia la aplicación de la densidad de Kernel —herramienta del software ArcGis, que calcula la densidad de las entidades en la vecindad de estas mismas—. Este análisis visibiliza las zonas con mayor densidad de UE de acuerdo con la cantidad de empleos que ofrecen y, por lo tanto, son los destinos de mayor cantidad de empleados. Fuera del uso de suelo de CHC, las UE se encuentran dispersas y desconectadas, solo en las avenidas principales existe una densidad semejante al CHC. La lógica de concentración de las UE en el CHC se debe a la ubicación de equipamiento público: mercados, terminales de transporte público, escuelas y oficinas gubernamentales, y sobre avenidas principales en las que el flujo vehicular se mantiene constante, esto indica que la visibilidad es el principal motivo de su localización.

Plano 2. Localización de unidades económicas



Fuente: elaboración propia, con datos del Censo de Población y Vivienda 2020, Inegi.

### *Equipamiento educativo*

Se localizaron 46 escuelas que corresponden al nivel básico, de estas, el 39% están ubicadas en el uso de suelo de CHC, que es la misma zona en la que se sitúa el 59.9% de las UE y todas las terminales de transporte público. Dicha zona se convierte en el principal destino de los desplazamientos urbanos. Al ubicarse parte de este equipamiento en la zona central es necesario plantear rutas alternativas de movilidad sostenible que no generen mayor conflicto vial.

### *Vialidades*

Con base en el análisis, se encontró que el 49% de las calles son locales, seguidas por las prolongaciones que conectan principalmente con las carreteras que rodean el área de estudio (Inegi, 2021). Esto indica que la movilidad es principalmente urbana, con velocidades reducidas de 30 km/h en zonas como escuelas, oficinas públicas, hospitales y lugares de reunión, mientras que en el centro urbano se permite una velocidad máxima de 50 km/h (GEM, 2017). Las calles tienen anchos variables y hay una escasa continuidad en la traza vial. Con excepción de la carretera federal, el resto de la tipología vial permite desplazamientos en bicicleta, siempre y cuando se hagan las adecuaciones necesarias de acuerdo con las velocidades permitidas y las características morfológicas de cada tipo de calle.

### *Accesibilidad peatonal*

La accesibilidad peatonal en el área de estudio está permitida prácticamente en su totalidad, únicamente en las manzanas que cuentan con calles “privadas” en las que solo se puede ingresar si eres vecino del sitio. Estas calles se encuentran limitadas por rejas, puertas o servicio de vigilancia y su uso de suelo es básicamente habitacional.

El tramo largo norte-sur del área de análisis se extiende por 2.4 km, lo que indica que la zona de estudio es transitable a pie. Sin embargo, existen diversos factores que limitan esta posibilidad, como la infraestructura de aceras y alumbrado público. Solo el 61% de las manzanas tienen aceras en todas sus vialidades y el 69% cuentan con alumbrado público, elementos indispensables para que los peatones puedan transitar de manera segura y eficiente a lo largo del día.

### *Accesibilidad motorizada*

En la zona de estudio, la accesibilidad vehicular predomina en todas sus calles. Se observa que la inversión de recursos públicos en infraestructura está dirigida principalmente al transporte motorizado. La parte central del área urbana se encuentra pavimentada en todas sus calles y solo en la zona norte de la periferia de la ciudad no es así. Al comparar los datos de infraestructura vial con los de infraestructura peatonal, se evidencia la importancia que se le otorga al vehículo. El 82% de las manzanas tiene todas sus calles pavimentadas, mientras que solo el 61% cuenta con aceras, lo que demuestra la atención que el ayuntamiento asigna a la movilidad motorizada.

### *Estacionamientos públicos*

Es fundamental conocer la ubicación y características de los cajones de estacionamiento, ya que cada viaje en automóvil comienza y termina en uno de ellos. Por lo tanto, su gestión se convierte en una herramienta esencial para controlar y reducir la congestión vehicular y fomentar otros medios de transporte. En la zona de estudio, aproximadamente, 80% de las calles tienen cajones de estacionamiento gratuitos, con excepción de la zona con uso de suelo de CHC. En esta área se cobra el estacionamiento en la calle mediante parquímetros, con un total de 800 cajones (IINFOEM, 2018). Asimismo, en este mismo uso de suelo se ubican 18 de los 30 estacionamientos de cuota, lo que fomenta los desplazamientos motorizados al centro del área de estudio.

Ante esta situación, es necesario explorar opciones que reduzcan los cajones de estacionamiento en las zonas centrales, que favorezcan el flujo de peatones y ciclistas y se reubiquen las zonas con cobro de parquímetro. Esto permitiría aumentar la sección de aceras e introducir infraestructuras, como ciclovías, lo que permitiría aprovechar el espacio público de diferentes formas, como lugar de encuentro y esparcimiento. También aumentaría la visibilidad y las compras en las diferentes UE, además de reducir las externalidades negativas asociadas al tráfico vehicular.

## CONCLUSIONES

La movilidad urbana no motorizada puede reducir los tiempos y distancias de traslado en ciudades pequeñas. Esta forma de movilidad no genera externalidades negativas como los vehículos motorizados. Por lo tanto, se considera una alternativa viable para mejorar la movilidad urbana y reducir los costos destinados a los desplazamientos. El Estado debe garantizar las condiciones necesarias para que todas las personas tengan igual acceso al territorio, independientemente de su nivel económico. De esta manera, se puede promover una movilidad sostenible, segura y equitativa.

Las rutas peatonales deberán planearse mediante andadores, que conecten los flujos más predominantes, con atención a las distancias de un kilómetro o 15 minutos de caminata, ya que las observaciones empíricas y mediciones hechas en los planes analizados indican una velocidad promedio de 4 km/h. Esta movilidad se plantea que atienda principalmente los flujos existentes y los nuevos flujos creados a partir de la planeación del equipamiento de transporte, acceso a las instituciones educativas y unidades económicas, así como a los espacios de estacionamiento reestructurados. En los circuitos peatonales se deben priorizar sus dimensiones y seguridad a partir de la reducción o eliminación del estacionamiento en calle. Asimismo, será necesario aprovechar la infraestructura existente como vías férreas u otra existente. En las aceras será importante implementar la franja de mobiliario y vegetación urbana, esto generará espacios de descanso, sitios iluminados en las noches y zonas de sombra en las tardes.

Los circuitos ciclistas estarán conformados por ciclovías, vías de tránsito compartido o calles de prioridad invertida, que cubran distancias de tres kilómetros o 15 minutos de desplazamientos; estos datos son considerando una velocidad de traslado de 10 a 15 km/h en escenarios con topografía plana e infraestructura como ciclovías. Los circuitos deberán atender los flujos intraurbanos de acuerdo con los orígenes y destinos más comunes, y los circuitos de desplazamientos interurbanos serán planeados para reducir las distancias y los tiempos de recorrido.

Los biciestacionamientos deben estar ubicados en puntos de transferencia modal, espacios públicos, plazas, jardines y aceras, para garantizar su seguridad y accesibilidad. Asimismo, deben estar ubicados cerca de zonas habitacionales, con equipamiento público, estacionamientos públicos y entradas a centros comerciales.

Para generar un impacto positivo en la economía local a través de la MUNOM es fundamental tener en cuenta las particularidades de cada zona en la que se encuentran las UE. Para lograr esto, según la teoría de localización es esencial garantizar una buena accesibilidad y visibilidad, lo que aumentará las posibilidades de venta y generará beneficios económicos significativos para la mayoría de las UE, toda vez que la concentración de flujos poblacionales señalan las zonas más propicias para las UE. Además, esto contribuirá a mejorar la aceptación y el beneficio en la economía local. El objetivo principal de la MUNOM es mejorar la movilidad, reducir los tiempos y las distancias entre las zonas habitacionales, las unidades económicas y los equipamientos.

La Nueva Geografía Económica (NGE) indica que una red de MUNOM que permita desplazamientos rápidos, cortos y seguros podría incentivar la reubicación o creación de nuevas UE a lo largo de la red. Asimismo, el mercado relacionado o de apoyo generará concentración y diversidad de negocios afines que incentivarán o reforzarán los desplazamientos no motorizados. Fortalecer las rutas de transporte no motorizado será un factor determinante para reorganizar la actividad económica y crear condiciones de acceso en zonas que antes se encontraban en el olvido.

La concentración de UE ha causado efectos negativos en las ventas debido a la sobreoferta de productos y servicios. Para resolver este problema, se plantea la reubicación de las unidades para aumentar sus ingresos al estar más cerca de los posibles compradores. Esta reubicación responderá a los nuevos flujos de población y, por lo tanto, a nuevas oportunidades de venta. El objetivo es dispersar las actividades económicas en el territorio para influir positivamente en la economía local.

Por otra parte, el 48.7% de los empleos en la zona de estudio corresponden a las UE de comercio al por menor. La implementación de una red MUNOM podría mejorar la movilidad de los empleados con bajos ingresos, lo que reforzaría su derecho al acceso a la ciudad y se conformaría como una política social con impacto positivo en la comunidad.

La influencia de una red de MUNOM en la economía local depende básicamente de la caracterización de la zona de estudio de acuerdo con la morfología vial, la localización poblacional, la ubicación de las UE, equipamiento de transporte, educativo y de abasto.

De ser posible, es necesario que las terminales de transporte público se ubiquen estratégicamente, considerando sus rutas de acceso y salida de la urbe, así como sus rutas internas de movilidad para brindar un servicio eficiente a toda la ciudad.

A su vez, la gestión adecuada de los estacionamientos es esencial para regular, definir y controlar el flujo de vehículos motorizados. Para lograr esto, es fundamental analizar los diferentes usos de suelo y la ubicación de las UE, con el fin de implementar un plan de localización eficiente para cada tipo de estacionamiento.

Los obstáculos para los desplazamientos no motorizados resultaron ser la inseguridad vial, la delincuencia peatonal y la falta de infraestructura adecuada; mientras que la distancia y el clima no suelen ser factores limitantes en ciudades pequeñas.

## REFERENCIAS

- Ayuntamiento de Barcelona. (2014). *Plan de movilidad urbana de Barcelona 2013-2018*. Ayuntamiento de Barcelona.
- Banco Mundial [BM]. (2002). *Ciudades en movimiento. Revisión de la estrategia de transporte urbano del Banco Mundial*. Banco Internacional para la Reconstrucción y el Desarrollo.
- Colville-Andersen, M. (2019). *The Copenhagenize Index. Bicycle-Friendly Cities*. Copenhagenize Design Co.
- Consejo Nacional de Población [Conapo]. (2018). *Sistema Urbano Nacional*. Sedatu.
- Flores, E. (1957). La economía del espacio o la teoría de la localización de la actividad económica. *Investigación Económica*, 17 (67). UNAM, pp. 331-371.
- Gobierno de Jalisco. (2010). *Plan Maestro de Movilidad Urbana No Motorizada del Área Metropolitana de Guadalajara*. Ayuntamiento del Municipio de Guadalajara.
- Gobierno del Distrito Federal. (2014). *Ley de movilidad*. Gobierno del Distrito Federal.
- Gobierno del Estado de México (GEM). (2017). *Reglamento de Tránsito del Estado de México*. GEM.
- Herce, M. (2009). *Sobre la movilidad en la ciudad*. Reverté.
- IINFOEM. (2018). *Resolución 00783/IINFOEM/IP/RR/2016*. IINFOEM.
- IINFOEM. (2009). *Plan Maestro de Movilidad Urbana de León*. Ayuntamiento Municipal de León.
- Inegi. (2021). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Inegi.
- Instituto para Políticas de Transporte y Desarrollo, México. (2011). *Ciclociudades*. ITDP.
- Krugman, P. (1993). *Geografía y Comercio*. Antoni Bosch.
- Ministerio de Transporte, Obras públicas y Gestión del Agua. (2009). *La bicicleta en los Países Bajos*. Mosaic Media.

- Monterrubio, P. (2015). *Plan Ecozona Centro de Toluca*. GIZ y Proyecto Tierra.
- Polése, M. (1998). *Economía urbana y regional: introducción a la relación entre territorio y desarrollo*. EULAC/GTZ.
- Porter, M. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*. Pearson.
- Pucher, J. (2004). Public Transportation. En G. Giuliano y S. Hanson. *The geography of urban transportation*. The Guilford Press, pp. 199-236.
- Quiroz, H. (2015). *Ciudad compacta. Del concepto a la práctica*. Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM].
- Secretaría de Transportes de Puebla. (2014). *Plan de Transporte No Motorizado del Área Metropolitana de Puebla*. Sedatu.
- SEMOVI. (2013). *Programa Integral de Movilidad 2013-2018*. Gobierno del Distrito Federal.



# CRONOTOPOS Y SUS LENGUAJES: TERRITORIALIZACIÓN DEL ECOTURISMO EN EL PARQUE NACIONAL NATURAL EL COCUI-BOYACÁ, COLOMBIA, SIGLO XXI<sup>1</sup>

Yenny Constanza Román Núñez

## INTRODUCCIÓN

Colombia es reconocida en el mundo por su rica diversidad biológica y cultural representada en 60 áreas naturales protegidas por el Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN). Precisamente, al nororiente colombiano en la Cordillera Oriental se encuentra el Parque Nacional Natural (PNN) El Cocuy, que en 1977 fue declarado por el entonces Instituto Nacional de Recursos Naturales Renovables y del Ambiente (Inderena), hoy Parques Nacionales (PN). El parque cuenta con una extensión de 306 000 ha, con alturas que van desde los 600 msnm hasta los 5 338 msnm y abarca los departamentos de Boyacá, Arauca y Casanare, ocupa parte del territorio del pueblo u'wa al traslaparse con seis resguardos indígenas (Ministerio de Cultura, 2014) (véase figura 1a). Asimismo, el parque contiene la masa glaciaria más extensa del país, la Sierra Nevada de El Cocuy, Chita o Güicán, con un área de 13.3 km<sup>2</sup> (25 km de longitud por 4 km de ancho) y más de 25 picos de 4 800 a 5 330 msnm, junto con el páramo más grande de Boyacá (PNN, 2002), donde habitan desde hace varios siglos campesinos altoandinos agricultores y ganaderos por el costado occidental de la sierra y campesinos llaneros por el costado oriental de la misma, como resultado de la colonización hispánica.

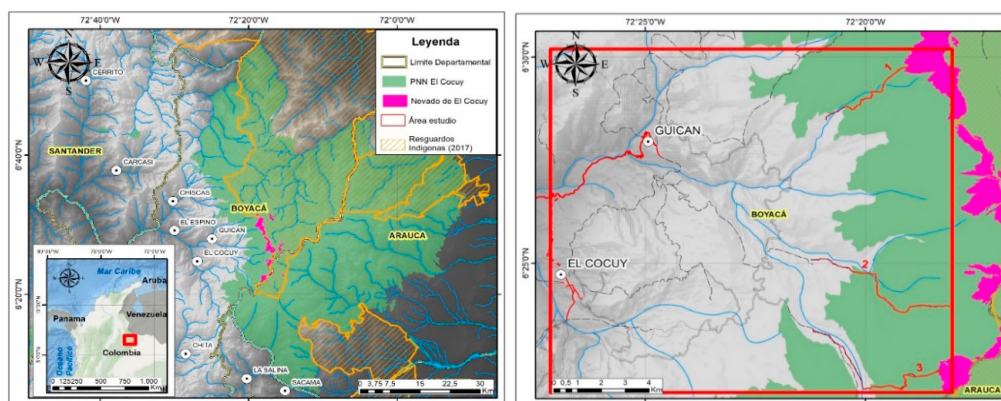
En general, el parque brinda servicios ecosistémicos de abastecimiento (agua, biodiversidad, alimento), regulación (clima, captación de CO<sub>2</sub>, ciclo del agua) y culturales (patrimonio y diversidad cultural, investigación, educación, recreación y

---

<sup>1</sup> Este artículo hace parte de los primeros resultados de la tesis doctoral *Territorialidades en disputa por turismo: (re) configuración territorial Parque Nacional El Cocuy Boyacá 2002-2020*. Línea de investigación: territorio y cultura. Director doctor Julián López García, catedrático de Antropología Social, UNED, España.

turismo), para la región, el país y el mundo. Aunque, el único uso permitido dentro del parque es el ecoturismo,<sup>2</sup> su infraestructura turística corresponde a una red de lugares ubicados en las cabeceras de los municipios de El Cocuy y Güicán, junto con una red de caminos que dan ingreso al costado occidental de la sierra por los senderos habilitados para esta actividad económica que se practica a borde de nieve (1. Sendero Ritacuba, 2. Sendero Laguna Grande de la Sierra, 3. Sendero Lagunillas Pulpito) (véase figura 1b).

**Figura 1. Parque Nacional Natural El Cocuy y territorio ecoturístico**



Fuente: elaboración propia. Figura 1a: localización general del PNN El Cocuy. Departamentos, municipios y resguardos indígenas. Figura 1b: costado occidental de la sierra e ingresos al PNN. Localización específica del área de estudio. 1. Sendero Ritacuba, 2. Sendero Laguna Grande de la Sierra, 3. Sendero Lagunillas Pulpito y Cabeceras municipales de El Cocuy y Güicán.

Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), desde los años treinta, la Sierra Nevada de Güicán, Cocuy y Chita vio la llegada de

<sup>2</sup> Según el Código de Recursos Naturales y de Protección del Medio Ambiente, Decreto 2811 de 1974 en su artículo 331, literal a, cita que las actividades permitidas en los PNN son la conservación, control, investigación, educación, recreación y cultura. Por tanto, la principal actividad de recreación es el turismo y en el caso de los PNN el ecoturismo como una estrategia de conservación, que es definida por Parques Nacionales: “Es una modalidad turística especializada y sostenible, enfocada a crear conciencia sobre el valor de las áreas del sistema, a través de actividades de esparcimiento, tales como la contemplación, el deporte y la cultura, contribuyendo al cumplimiento de sus objetivos de conservación y a la generación de oportunidades sociales y económicas a las poblaciones locales y regionales”. Resolución 0531 de 2013.

montañistas nativos y extranjeros después de la conquista de las nieves andinas; como el alemán, Erwin Krauss, quien recorrió los caminos abiertos con anterioridad por los campesinos en la alta montaña, quienes se convirtieron en guías o arrieros prestos a ayudar con los equipajes, o en médicos o rescatistas (IDEAM, 2012). En la década de los setenta, las actividades de montaña tomaron fuerza con la creación del parque y a comienzos de los ochenta, con la construcción de infraestructura para un turismo especializado en las alturas. Sin embargo, la situación de orden público y la violencia de mediados de los ochenta y noventa cobró víctimas en el parque, y lo llevó al olvido institucional, hasta que PNN en 1995 retomó su gestión impulsando de nuevo el ecoturismo, atrayendo a universidades y turistas nacionales e internacionales. No obstante, a pesar de los esfuerzos por desarrollar el turismo en el parque, entre 1999 y 2002, se presentó una disminución en el ingreso de visitantes, de 919 a 162, debido al recrudecimiento del conflicto armado (Calderón, 2010).

Ahora bien, en este siglo se han presentado conflictos en el parque por parte de los diversos actores relacionados con el ecoturismo, que se pueden resumir en tres momentos: el primero, resultado de la implementación de la política de seguridad democrática por parte del gobierno de Álvaro Uribe, que brindó las condiciones de seguridad en ciertas zonas de interés del país, junto con un andamiaje de políticas ambientales y turísticas promovidas por el Estado, con el fin de activar la economía en la región, esto le permitió a Parques Nacionales garantizar un auge del turismo desde 2002 hasta 2015 basado en el incremento exponencial de visitantes, que pasaron de 162 a 18 500 ingresos. Un segundo momento, concierne con el cierre del parque en 2016, a partir de la protesta de campesinos e indígenas u'wa resultado del impacto negativo del turismo, este hito incluyó retomarlo a comienzos de 2017; llamada así a la acción de prestadores de servicios turísticos, restaurantes y comerciantes, que solicitaron la reapertura del parque por los impactos económicos en la región. Finalmente, en abril de 2017 se reabrió el parque con varias restricciones al turismo luego de más de un año de negociaciones, a este tercer momento se le suma una situación que se presentó tres días después de la reapertura por imprudencia de los turistas que ingresaron al glaciar y pusieron en riesgo los acuerdos alcanzados en las mesas de diálogo intercultural con las nuevas restricciones al turismo. De forma adicional, entre 2018 y 2022 crecieron las expectativas en el PNN El Cocuy-Boyacá con relación al ecoturismo, luego del proceso de Paz con las Fuerzas Armadas

Revolucionarias de Colombia (FARC) (Caracol Radio Tunja, 2016) y frente a los anuncios de los últimos gobiernos, que “el turismo es el nuevo petróleo del país (*El Espectador*, 2018), y que será el pilar hacia una sustitución parcial de la economía de hidrocarburos (*Portafolio*, 07/03/2011)”. Cabe agregar que para 2020 la situación se volvió más compleja por las condiciones de seguridad dentro del parque, debido a la presencia de grupos armados ilegales (GAI), junto con la declaratoria mundial de pandemia por covid-19.

Con base en estos antecedentes se planteó la pregunta investigativa: ¿de qué manera el conflicto territorial derivado del turismo pone en tensión a los diferentes actores involucrados: comunidad indígena u'wa, campesinos, operadores turísticos, turistas-visitantes e instituciones; frente al uso, sentido y forma de ordenamiento del Parque Nacional Natural El Cocuy-Boyacá en el presente siglo? Por tanto, esta investigación buscó develar la territorialización de la práctica ecoturística en el Parque Nacional Natural El Cocuy-Boyacá durante el presente siglo, mediante la definición de *cronotopos* y sus *lenguajes* como *escenarios* y *contextos* para la lectura crítica de la conflictividad por parte de diversos actores: indígenas u'wa, campesinos, operadores turísticos, turistas, el Estado y grupos armados ilegales como el ELN; todos ellos con múltiples intereses, así como lógicas complejas de ocupación y apropiación territorial.

## CONSIDERACIONES TEÓRICAS

En primer lugar, se arrancó del estudio del conflicto, que suele asumirse como sinónimo de antagonismo, problema, desajuste, choque, enfrentamiento, oposición entre actores y/o entre estructuras o instancias (Peña, 2008). Para este caso se asumieron los postulados de Simmel (2010), quien considera el conflicto como un elemento positivo y la forma de socialización más intensa. El autor afirma que “la sociedad necesita un combinado de armonía y disonancia, de asociación y lucha, de simpatía y antipatía para definir su forma. [...] la sociedad es, efectivamente, el resultado de la interacción entre las dos categorías” (Simmel, 2010, p. 19). En el mismo sentido, para Coser (1961), el conflicto, no es sinónimo de crisis, sino un factor positivo y un elemento integrador que reduce el aislamiento social. Además, según Coser, el conflicto estimula establecer nuevas reglas, normas e instituciones

o modificar las antiguas, entonces “funciona como agente de socialización entre contendores y realiza el ajuste de las relaciones a las condiciones modificadas” (Coser, 1961, p. 147).

En segundo lugar, para el estudio y la comprensión del conflicto, se recurrió al concepto de *cronotopo*, abordado hasta ahora por algunas disciplinas. Por ejemplo, a comienzos del siglo xx desde la física; Einstein, Lorentz y Minkowski unificaron el tiempo como una cuarta dimensión del espacio, es decir el *espacio-tiempo*. De otro lado, fue el fisiólogo A. A. Ujtomsky quien propuso el término cronotopo para la biología, al referirse a los órganos funcionales, definidos: “como cualquier combinación temporal de fuerzas, capaz de llevar a cabo un determinado logro o la distribución de la actividad en el espacio y el tiempo” (Shuare, 2010, p. 446). Más tarde, este concepto de cronotopo fue profundizado por Bajtin, luego de asistir a una conferencia de Ujtomsky en 1925. Entonces, Bajtin propuso el *cronotopo artístico literario* afirmando que en este:

[...] tiene lugar la unión de los elementos espaciales y temporales en un todo inteligible y concreto. El tiempo se condensa aquí, se comprime, se convierte en visible desde el punto de vista artístico; y el espacio, a su vez, se intensifica, penetra en el movimiento del tiempo, del argumento, de la historia. Los elementos del tiempo se revelan en el espacio, y el espacio es entendido y medido a través del tiempo” (Bajtin, 1989, párrafo 2).

De otro lado, a partir de la obra de Bajtin, recientemente Vergara (2019) sugirió su aplicación en los estudios sociales, al abordar los *cronotopos y su lenguaje* como *escenario y contexto*, afirmando que

los conflictos y sus lenguajes se ubican en cronotopos, es decir, en la espacio-temporalidad del acto, donde los actores interactúan, en los lugares que los contienen, sostienen e impulsan, [ya que] [...] conjuntan situaciones, espacios y tiempos bajo la actividad de actores. Estos cuatro elementos componen las relaciones sociales y están definidas en un marco y dispositivos culturales atravesados y modulados por el poder, al que se remiten y expresan (Vergara, 2019, p. 99).

Por tanto, esta investigación utilizó el concepto de *cronotopo* en la praxis, es decir, como metodología para profundizar en el estudio de los conflictos territoriales, puesto

que toda acción social se da en un tiempo y espacio específicos, por consiguiente, conlleva a una acción territorial, de hecho, Peña (2008) afirma que en los conflictos territoriales están presentes muchas de las dinámicas sociales atravesadas por las relaciones de poder, por tanto, para definirlo hay que acercarse a los términos de territorio y territorialidad, ya que el establecimiento de la territorialidad de algunos conlleva a su territorialización, que según Monet es “la acción humana sobre el espacio material motivada por una territorialidad [...]”. Podemos entonces hablar de un sistema socio-territorial que asocia necesariamente el territorio, la territorialidad y territorialización” (Monet, 2013, p. 144). Ya que, para Haesbaert (2011), la territorialización de algunos conlleva a la desterritorialización de otros. En definitiva, los conflictos funcionan como dispositivos de territorialización (Vergara, 2017), según el autor, posiblemente: “veremos cómo, los conflictos tatúan el territorio con símbolos, hitos, cronotopos y (nuevas) fronteras y fragmentaciones y sumas, según el carácter del conflicto, el que opera como dispositivo de intervención espacio-temporal (histórico) de territorialización” (p. 75).

## METODOLOGÍA

Esta investigación aportó una nueva metodología para la lectura crítica del conflicto territorial a partir de la aplicación y ampliación del concepto de cronotopo propuesto por Vergara (2019). A fin de cuentas, ubicar los conflictos en cronotopos no solo permitió identificarlos, sino también, mediante sus lenguajes, permitió hacer una lectura de sus dinámicas; es decir, de los actores y sus acciones y, especialmente, de sus territorialidades. En otras palabras, se dio cuenta de las relaciones sociales de valor (Monet, 2013), de control (Sack, 1986) y de poder (Raffestin, 2011), que anteceden un proceso de territorialización.

Ahora bien, para la definición de los cronotopos, en este estudio cualitativo de enfoque crítico, mediante la investigación documental (Alfonzo, 1995) de tipo informativo y argumentativo (Páramo, 2010), se revisaron fuentes secundarias sobre la práctica turística en los últimos 20 años.<sup>3</sup> Luego, a partir de dos registros

<sup>3</sup> Artículos científicos, tesis de maestría y doctorado, periódicos, páginas web institucionales y de organizaciones, publicaciones del Observatorio de Conflictos Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia, instrumentos de planeación vigentes en la web de PN: Plan de Manejo Ambiental (PMA) del PNN 2005-2009, Plan de Ordenamiento Ecoturístico (POE) de la Sierra Nevada El Cocuy, Güicán

de visitantes al PNN El Cocuy (2003-2018 y 2004-2019) se elaboró un gráfico de barras comparando los ingresos año por año, que permitió identificar patrones y tendencias de los datos estadísticos que se triangularon con los análisis cualitativos resultado de la investigación documental y enriquecidos con el trabajo etnográfico, con los que se conocieron las posiciones y dinámicas territoriales de los diversos actores implicados en el turismo, a través de las entrevistas hechas a los guías, los turistas, los prestadores de servicios turísticos en varias salidas de campo. Lo anterior en consonancia con Elias y Scotson (2016), en cuanto a que los análisis cuantitativos y cualitativos son complementarios, ya que las estadísticas por sí solas no dicen nada y requieren de una interpretación teórica en diálogo con los datos empíricos hallados.

## RESULTADOS

*Definición de los cronotopos: conjunción indisoluble de tiempo, espacio, actores y acciones*

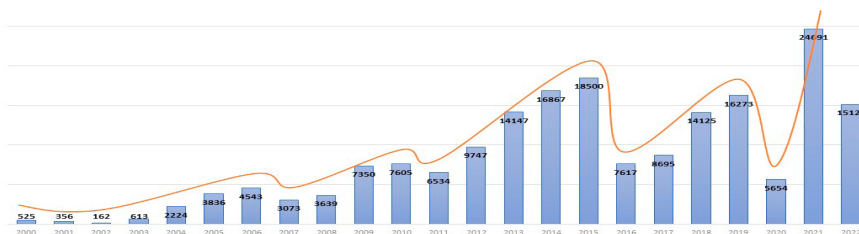
Con base en el registro de visitantes de Parques Nacionales al PNN El Cocuy se elaboró la gráfica que se muestra en la figura 2, donde se observan cuatro periodos de crecimiento en el ingreso de personas: 2002 al 2006, 2007 al 2010, 2011 al 2015 y 2016 al 2019; así como cinco puntos de inflexión,<sup>4</sup> quiebre o ruptura en 2007, 2011, 2016, 2017 y 2020; de estos últimos, cuatro corresponden a periodos de decrecimiento en el ingreso de visitantes, entre 2006-2007, 2010-2011, 2015-2016 y 2019-2020. En vista de ello, se identificaron nueve *tempos* que se triangularon con los análisis cualitativos para la definición de nueve cronotopos que juntan de manera indisoluble *espacios, tiempos, actores y acciones*, en específico sobre la práctica ecoturística en el PNN El Cocuy que se describen a continuación. Cabe aclarar que la definición de cada cronotopo está acompañada de su numeración solo para facilitar su posterior análisis y comparación.

---

y/o Chita, 2011-2016, y una última versión, 2021-2025, junto con los planes de desarrollo de los municipios de la provincia de Gutiérrez, planes de desarrollo de la gobernación de Boyacá y la Nación, junto con la Política de Desarrollo del Ecoturismo (2003), entre otros.

<sup>4</sup> *Turnig points* o puntos de inflexión son acontecimientos inesperados que producen cambios, eventos específicos que interrumpen el acontecer (Elder, 1989, citado por Muñiz Terra, 2012).

**Figura 2. Definición de los cronotopos a partir del número de visitantes registrados por PNN que ingresaron al PNN El Cocuy, entre 2002 y 2020**



Fuente: elaboración propia a partir de datos reportados por PNN en 2018 y 2019. Tomados de: <https://storage.googleapis.com/pnn-web/uploads/2013/11/HIST%C3%93RICO-VISITANTES-2002-2018-Total.pdf>

### *Activación del turismo en el PNN El Cocuy 2002-2006 (cronotopo uno)*

Entre 2002 y 2006 aumentaron los visitantes de 162 a 4 543 (véase figura 3), según el Plan de Manejo Ambiental (PMA) 2005-2009, esto correspondió a la mejora en las condiciones de seguridad del Parque, debido a la instalación del Batallón de Alta Montaña José Santos Gutiérrez del Ejército colombiano que combatió los frentes del Ejército de Liberación Nacional (ELN) y las FARC, desplazándolos hacia el Arauca entre 1999 y 2002 (PNN, 2005, p. 158). Cabe recordar que en el parque operaban

guerrilleros del frente 45 de las FARC y la Columna Adonái Ardila Pinilla, la Columna Domingo Laín y la Compañía Simacota del ELN. Algunos turistas que se los han encontrado cuentan que les dan recomendaciones de no dañar la naturaleza, preguntan su procedencia, fines de la visita y tiempo de estadía (*El Tiempo*, 25/02/2001).

Lo anterior, en el marco del primer periodo de la presidencia de Uribe (2002-2006), que implementó la política de *seguridad democrática* y lanzó la Política de Desarrollo del Ecoturismo (2003) que promocionó el parque en diferentes medios, “cada vez hay mayores operadores de turismo que venden la Sierra Nevada como un destino al alcance de todos. Se puede observar que el número de visitantes de un año a otro, casi que se ha duplicado” (Calderón, 2010).

### *Intensificación del conflicto armado (cronotopo dos)*

En 2007, respecto al año anterior, disminuyeron los visitantes a 1 470 (véase figura 3), esto posiblemente se relacione con la dinámica del conflicto armado en la región. De acuerdo con el PMA 2005-2009, las dinámicas del conflicto armado cambiaron frente a los resultados de la política de *seguridad democrática*, pues el Estado recuperó el control territorial en el costado occidental de la sierra; en cambio, en el flanco oriental era muy incierto, debido al aumento de cultivos de coca en el área de influencia del parque hacia el Norte de Santander, junto con delitos contra el oleoducto Caño-Limón-Coveñas en Arauca por parte de la FARC y el ELN (hurto del hidrocarburo, el secuestro de los funcionarios públicos, la extorsión y las voladuras a la infraestructura) (Méndez, 2019). Cabe agregar, el incremento por parte de Estados Unidos en la inversión en recursos y soldados para la protección del oleoducto y el Plan Colombia, el aumento del paramilitarismo en el Casanare, el enfrentamiento entre guerrilla y paramilitares en el tránsito a los Llanos, la delincuencia y el secuestro (PNN, 2005).

### *Reactivación del turismo (cronotopo tres)*

Entre 2008 y 2010 aumentaron los visitantes de 3 073 a 7 605 (véase figura 3). Esto, en coherencia con la continuidad de la política de seguridad democrática del segundo periodo de Uribe (2006-2010), que continuó con la activación de la economía de la región mediante la adecuación de hoteles y restaurantes, aumentaron los operadores turísticos locales y foráneos, sobre todo, en los municipios de El Cocuy y Güicán para la atención de los turistas nacionales y extranjeros con actividades de montañismo, escalada, campismo y senderismo reglamentadas; en especial, durante los meses de diciembre, enero, febrero, marzo que es el tiempo seco y de mayor afluencia de turistas, junto con junio y julio en temporada de vacaciones. De forma adicional, aumentó el ingreso de caballos dentro del servicio de portería ofrecido por los campesinos y el alquiler de zonas para acampar dentro del glaciar.

En 2010, Parques Nacionales determinó la capacidad de carga turística<sup>5</sup> del sector occidental de la Sierra Nevada del Cocuy, el informe brindó recomendaciones acerca de los impactos negativos e irreversibles por el ingreso de caballos con la ampliación de los senderos, el consumo de frailejones y el manejo de sus excretas, debido a la introducción de especies foráneas al ecosistema de páramo. Asimismo, el documento resaltó la necesidad de: “realizar el monitoreo de los impactos del ecoturismo con la participación y acompañamiento de la comunidad local, para aunar esfuerzos para la conservación de la Sierra Nevada” (Calderón, 2010, p. 113) (véase figura 3).

#### *Atentados al extractivismo de hidrocarburos en inmediaciones del PNN El Cocuy (cronotopo cuatro)*

En 2011 decrecieron los visitantes en 1 071 respecto al año anterior (véase figura 3). Paralelo al conflicto armado, Vila (2017) afirma que se mantuvieron los atentados terroristas sobre el oleoducto Caño-Limón-Coveñas, con derrames de crudo sobre los ríos impactando los recursos y las poblaciones, y la continuidad de proyectos extractivistas de petróleo y gas, ahora encabezada por Ecopetrol (Proyecto Magallanes), que comenzó con la exploración en 2010, superponiéndose con la reserva forestal El Cocuy (Vila, 2017; Durán, 2016). En ese mismo año se presentaron 31 ataques a oleoductos (*Portafolio*, 2011), en general, entre 1986 y 2015, se perpetraron contra este oleoducto al menos 1 339 acciones armadas (*El Espectador*, 2023).

#### *Intensificación del turismo (cronotopo cinco)*

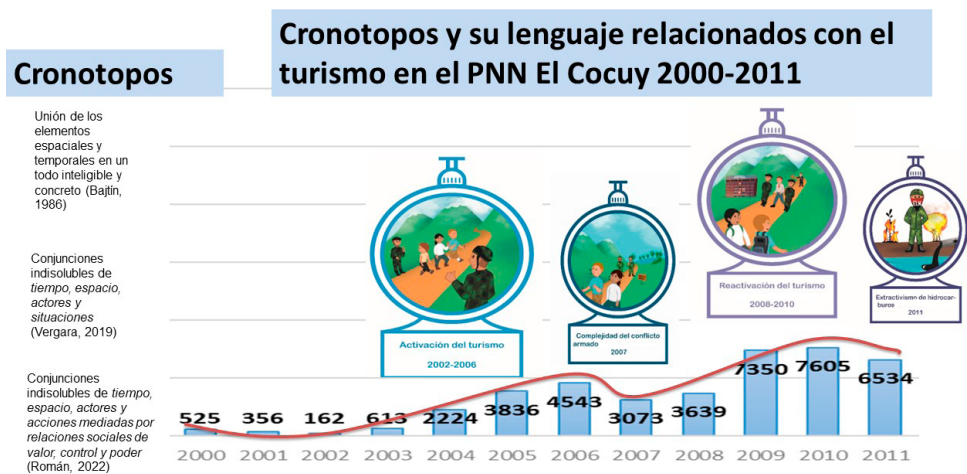
Entre 2012 y 2015 se duplicaron los ingresos de visitantes con relación al incremento anterior (véase figura 4). Este aumento, condujo en 2013 a que PN ampliara el recurso humano, además, con base en el diagnóstico de impactos de 2011 se emitió la Res. 286 de 2013, que prohibió el ingreso de equinos al parque, la pesca deportiva y el recorrido denominado Sendero Vuelta a la Sierra por el costado Oriental a la Sierra.

---

<sup>5</sup> La capacidad de carga aceptable “es el número de personas que soporta un sitio en un tiempo determinado, de acuerdo al balance integral entre los aspectos determinantes de la actividad ecoturística, como son los elementos biofísicos, ambientales, operativos, infraestructura, dinámica y satisfacción del visitante y de la comunidad local de tal manera que garantice la sostenibilidad del ecoturismo como estrategia de conservación” (Cifuentes, 1992; Báez y Acuña, 2003; Cubillos y Jiménez, 2010, citado por Caviedes y Olaya, 2017, pp. 314-315).

Asimismo, la resolución reguló la tarifa de ingreso, los puntos de registro y recaudo, los senderos y las actividades permitidas, como: senderismo, campismo, escalada en roca, escalada en hielo y caminata por el glaciar. Del otro lado, sugirió analizar la implementación de un seguro de accidentes y recomendó un proceso más intensivo de comunicación y sensibilización con el visitante y de capacitación con el prestador de servicios ecoturísticos (PN, 2013).

Figura 3. Cronotopos 2000 a 2011 relacionados con el turismo en el PNN El Cocuy



Fuente: elaboración propia con datos reportados por PNN en 2018 y 2022. Tomado de: <https://storage.googleapis.com/pnn-web/uploads/2013/11/HIST%C3%93RICO-VISITANTES-2002-2018-Total.pdf>

En efecto, el Observatorio de Conflictos Ambientales (OCA) de la Universidad Nacional de Colombia reportó más de 65 000 ingresos al parque entre 2012 y 2015 (registrados y no registrados por Parques Nacionales). Solo en 2015 ingresaron 19 239 visitantes, el parque no contaba con el personal y/o la infraestructura adecuada para el control en el ingreso y la atención a los visitantes (PN, 2021). Aunque, en los diversos documentos de Parques Nacionales desde la primera década de este siglo ya se venía alertando sobre la necesidad de un seguimiento al ecoturismo, ante dicho aumento de visitantes los impactos negativos se hicieron notables: el aumento de residuos sólidos, el mal manejo de excretas humanas y de caballos, la transformación del paisaje, la afectación a la flora y fauna nativas, ya

que además del gran número de visitantes, se permitía deslizarse por el glaciar. De igual forma, aumentaron las actividades de montañismo, escalada, pernoctar en el parque, acampar, hacer fogatas y hacer la famosa vuelta a la Sierra en un recorrido de más de ocho días que atravesaba caminos sobre los resguardos indígenas (OCA-IDEA-UNC 2017; Vila, 2017). De todas maneras, el parque contaba ya con el Plan de Ordenamiento Ecoturístico (POE) de la Sierra Nevada El Cocuy, Güicán y Chita 2011-2016, como herramienta importante para la gestión del ecoturismo, según los guías locales, el ecoturismo se salió de control y no existía ninguna regulación en la práctica, como se puede apreciar en el siguiente relato:

En esa época, en temporada alta, sobre todo en los meses de diciembre, enero y febrero, diariamente, por cada una de las rutas de acceso al nevado, por ejemplo, aquí en el Sendero al Ritacuba Blanco, podrían ingresar de 300 a 400 personas diarias, sin ningún control, ni regulación, muchas personas ingresaban al parque sin ser registradas, no se respetaban los senderos, se permitía el ingreso y ascenso a la nieve, las personas subían con cartones para deslizarse, eso, cualquiera era guía, venían muchos de afuera sin ninguna preparación, sucedieron algunos accidentes, no había seguro (,) [...] perfectamente en un día podrían estar unas 1 200 personas en el nevado sumando todas las rutas, eso era una romería de personas subiendo al nevado y eso que antes se subía con los caballos, pero eso se prohibió porque se comían los frailejones, pero a esos animales se les exigía mucho; en un día, un caballo de esos podía subir hasta cinco veces, por eso eran flaquiticos [...]. El recorrido preferido de los montañistas era la vuelta a la Sierra, un recorrido de seis días de duración, se permitía acampar y pernoctar en el nevado, eso era un despedote, uno como guía les organizaba todo el paquete, los recibía, les ofrecía el desayuno, los llevaba y organizaba las zonas para acampar allá arriba y eso terminaba uno llevándoles las maletas (Comunicación personal con guía local del 27 y 30 de marzo de 2018, Güicán).

### *Colapso del turismo y cierre del PNN El Cocuy entre febrero y julio de 2016 (cronotopo seis)*

Los medios de comunicación nacionales y locales registraron el cierre del parque frente a la práctica insostenible del turismo de años atrás, que colapsó a causa de un video que circuló en redes mostrando un grupo de *ambientalistas* jugando un partido

de fútbol dentro del glaciar<sup>6</sup> (Medina, 2016; Vila, 2017; Gamba, 2017). Esto dio como resultado que campesinos rompieran la vía de ingreso el 28 de febrero de 2016, y solicitaron que se prohibiera el ingreso a turistas. Al día siguiente, se unió la guardia indígena bloqueando los tres ingresos al parque, a través de esta resistencia pacífica, el pueblo u'wa solicitó a PNN suspender la actividad ecoturística por no respetar a Zisuma,<sup>7</sup> ya que consideraron insuficientes “las medidas existentes para vigilar y controlar el comportamiento de turistas frente a los ecosistemas y la biodiversidad del Nevado de El Cocuy” (Caracol Radio Tunja, 18/03/2016, párrafo 3). En particular, la petición de los campesinos consistió en: “que se prohibiera la entrada de turistas porque el agua que los abastecía, por el distrito de riego, dejó de llegar” (Semana, 2017, párrafo 2; Vila, 2017). Finalmente, PNN emitió la Resolución 401, del 29 de julio de 2016, que prohibió temporalmente el ingreso y cerró el parque (véase figura 4).

*Retoma por parte de Prestadores de Servicios Turísticos y reapertura del PNN El Cocuy, entre enero y abril de 2017 (cronotopo siete)*

Durante 2016 con el cierre del parque la situación se tornó más tensa, pues los operadores turísticos denunciaron una crisis del turismo en la Provincia de Gutiérrez,<sup>8</sup> al nororiente de Boyacá, y afectaciones económicas por su dependencia total de esta actividad, ya que varios hoteles y restaurantes fueron cerrados definitivamente. De manera que el 7 de enero de 2017, se dio *la retoma*, así llamaron los medios de comunicación la acción de Prestadores de Servicios Turísticos: guías, dueños de hoteles, restaurantes y comerciantes quienes manifestaron pérdidas para el departamento cercanas a los 15 000 millones pesos colombianos en los últimos 10 meses, desde que se cerró el parque, por tanto, exigieron su reapertura, pues “su objetivo era entrar y manifestarles a Parques Naturales, a los u'wa y a los campesinos que iniciaron el bloqueo, que no hay razones de peso para tener cerrada esta maravilla natural” (Semana, 14/01/2017, párrafo 6). Sin embargo, frente a la disputa de casi un año por el parque, desde el cierre del PNN El Cocuy se mantuvieron de manera permanente las mesas de diálogo intercultural.

<sup>6</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=ob-bWfF5qKQ>

<sup>7</sup> Nombre sagrado que dan los indígenas a la Sierra Nevada El Cocuy, Güicán y/o Chita.

<sup>8</sup> Conformada por los municipios de Chiscas, El Cocuy, El Espino, Guacamayas, Güicán y Panqueba.

Luego de más de un año de negociaciones, el 6 de abril de 2017, Parques emitió la Resolución 118 de Reapertura del Parque, que restringió el turismo a tres senderos (véase figura 1). De igual forma, se emitió un reglamento temporal con varias restricciones al turismo relacionadas con la prohibición dentro del parque de ingreso de caballos, pernoctar, hacer fogatas, tocar la nieve y deslizarse en ella, en general, toda actividad de senderismo deberá hacerse a 50 m de distancia del glaciar. Asimismo, en la mesa de concertación (23 de agosto de 2016) el pueblo indígena u'wa solicitó un estudio del impacto del turismo. Sin embargo, tres días después, las tensiones reaparecieron, ya que de nuevo circuló en la web una foto de un turista ingresando al glaciar, esta imprudencia puso en riesgo los acuerdos y consensos alcanzados en la mesa de diálogo intercultural, que los medios titularon como *reapertura en vilo*, de inmediato el pueblo u'wa hizo público un llamado de atención a Parques Nacionales exigiendo el cumplimiento de la Resolución (*Semana*, 25/04/2017) (véase figura 4).

### *El turismo, el nuevo petróleo de Colombia entre 2017 y 2020 (cronotopo ocho)*

A partir de la firma del acuerdo de paz con la FARC, el Estado promueve el turismo, para ello lanza *12 corredores turísticos* en el país que

buscarán llevar a millones de turistas nacionales y extranjeros a sitios que nunca antes habían recorrido, integrando de esta manera 311 municipios de los 32 departamentos del país [...]. Con esto, se espera incrementar el turismo en un 30% hasta el 2018 debido a la vocación turística de Colombia con cuatro productos de alto valor “el turismo de naturaleza, cultura, salud, bienestar y reuniones” (MCIT, 2017, párrafo 1-3).

Precisamente, en el PNN El Cocuy culmina el Corredor Turístico Central; que comienza desde el departamento del Huila, al suroccidente del país, y va hasta el departamento de Boyacá, al nororiente colombiano. De forma adicional, se reportaron avances frente a los compromisos establecidos en las mesas de diálogo intercultural (2016) que quedaron consignados en la Resolución de reapertura (2017), a esto se sumaron las propuestas de turismo contenidas en los planes de desarrollo municipales y departamentales para las vigencias (2016-2019 y 2019-2023). Al respecto, se firmó un convenio entre la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) y Parques Nacionales (2017-2020) para el estudio del impacto ambiental derivado de

las actividades antrópicas en el parque. A esto se suma, la expectativa de promover el turismo luego de la firma del Acuerdo de Paz, junto con los anuncios del gobierno de Duque sobre el fomento de este sector.

Al respecto, la investigación desarrollada entre la UPTC-PNN en la determinante de turismo estimó un recaudo total por conceptos directos e indirectos para el año 2017, en 1 726 187 836 millones de pesos colombianos. El estudio resalta la relevancia de estos ingresos, en especial, por los conceptos de transporte local, hospedaje y servicios de guías. Además, señala la percepción desfavorable del ecoturismo para los campesinos por su exclusión de la actividad:

Según los pobladores, el ecoturismo no genera ninguna renta directa para ellos o si lo hace, es en una mínima proporción. La percepción permite interpretar que los beneficios económicos no se asocian a los pobladores y que los daños ambientales se están generando sobre sus territorios de manera directa (Gutiérrez, 2020, p. 275) (véase figura 4).

#### *Cierres temporales del PNN El Cocuy durante 2020 (cronotopo nueve)*

Parques Nacionales, en Resolución 061 del 7 de febrero de 2020, ordenó el cierre temporal, restringió el acceso al personal y prohibió el ingreso a visitantes y prestadores de servicios ecoturísticos. Esta decisión se tomó a raíz del asesinato de Yamid Alonso Silva Torres, guardaparque funcionario de PNN (06/02/2020), junto con el de Libardo Arciniegas Zaldúa, tesorero de la Junta de Acción Comunal de la Vereda<sup>9</sup> Pachacual, en El Cocuy dos días antes.<sup>10</sup> Luego del Consejo de Seguridad hecho por la Gobernación de Boyacá se informó el cierre por alteraciones en el orden público en las zonas de jurisdicción del Parque en los Departamentos de Boyacá y Arauca (PNN, 2020) (véase figura 4).

<sup>9</sup> “El profesor Guillermo Hernández Rodríguez competente estudioso de los problemas agrarios de Colombia opina que lo que los colombianos distinguimos con el nombre de veredas en los municipios son en realidad antiguas capitanías indígenas asentadas sobre un territorio del cual desapareció el indio, pero dejando sobre la tierra un nombre como eco de su raza y como una bandera. (Hernández, 1949, p. 68; citado por Fals, 1961, p. 48). [...] Más no es posible que todas las veredas estuvieran arraigadas en antiguas organizaciones indígenas, muchas de ellas originariamente no eran capitanías o resguardos, sino sencillamente inmensas haciendas poseídas por españoles” (Fals, 1961, p. 48).

<sup>10</sup> Revista Semana confirmó, por información de la Fiscalía y de inteligencia de la Policía, que los asesinatos fueron perpetrados por ELN, presentes en el parque por ser un corredor estratégico entre Boyacá, Arauca y Venezuela, así como por su interés en los oleoductos y la coca sembrada en la zona (Guarnizo y Torres, 2020).

De forma adicional, es importante tener en cuenta la situación de los PNN en Colombia, al comenzar la segunda década de este siglo, por enfrentamientos entre grupos armados al margen de la Ley como el ELN, las disidencias de las FARC y el Ejército Nacional, en medio de campesinos y de los guardaparques, pues “mientras los primeros promueven incendios y deforestación para ampliar zonas de cultivo de coca y extensa ganadería, los segundos promueven la conservación” (*El Tiempo*, 22/02/2020). Según funcionarios:

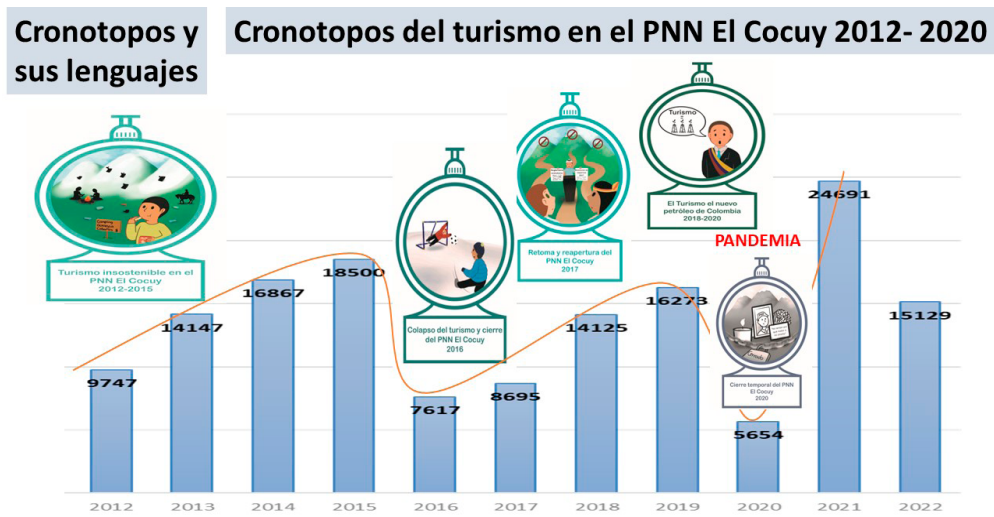
Parques Nacionales ha puesto muchos muertos y aun así las directivas no se inmutan; [quedando] en evidencia lo que ya muchos expertos venían advirtiendo: que desde la firma del acuerdo de paz entre el Gobierno y las FARC estas zonas, históricamente controladas por la extinta guerrilla, quedaron a merced de los grupos residuales (Rojas, 2020, párrafo 9).

No obstante, en una gestión conjunta entre la Gobernación de Boyacá, la cadena de valor del turismo y Parques Nacionales, en Resolución 125 del 5 de marzo de 2020, esta entidad comunicó la reapertura del parque una vez controlados los factores que condujeron a su cierre (*El Espectador*, 05/03/2020). Finalmente, cabe agregar que durante 2020, el parque estuvo cerrado desde el 16 de marzo hasta el 10 de diciembre, ante la declaratoria de emergencia sanitaria en el territorio nacional por covid-19, Parques Nacionales, en Resolución 137 del 16 de marzo ordenó el cierre temporal de todas las áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales abiertos al ecoturismo. De todas maneras, para 2020 se registró un ingreso de 5 654 visitantes y, para 2021, en pandemia, se registraron 24 691 visitantes, que corresponde al registro más alto.

### *Cronotopos y sus lenguajes: escenarios y contextos*

Una vez definidos los cronotopos y sus lenguajes se volvió necesario analizar el conflicto territorial (véase figura 5), a través de una matriz, en la que cada cronotopo se cruza con actores y sus acciones, así como con sus territorialidades, que anteceden a un proceso de territorialización del ecoturismo en el PNN El Cocuy en el presente siglo.

Figura 4. Cronotopos 2011-2020 relacionados con el turismo en el PNN El Cocuy



Fuente: elaboración propia a partir de datos reportados por PNN en 2018 y 2022. Tomado de: <https://storage.googleapis.com/pnn-web/uploads/2013/11/HIST%C3%93RICO-VISITANTES-2002-2018-Total.pdf> <https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2022/02/historico-de-visitantes-en-pnn-anos-2010-2021.pdf>

Figura 5. Tabla lectura de cronotopos

CRONO-TOPO	TIEMPO-ESPACIO	ACTORES / ACCIONES	TERRITORIALIDAD RELACIONES SOCIALES DE VALOR-DE CONTROL-DE PODER	TERRITORIALIZACIÓN DEL ECOTURISMO
C1 Activa- ción del turismo	2002- 2006 Costado occi- dental del PNN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estado</li> <li>- Implementó la Política Seguridad Democrática</li> <li>-Instaló el Batallón de Alta Montaña</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejército</li> <li>- Recuperó el <i>control territorial</i> del PN</li> <li>• Estado</li> <li>- Garantizó la <i>seguri-</i>dad y <i>ejerció</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se mejoraron las vías intermunicipales y municipales-veredales</li> <li>• Se instaló infraes- tructura dentro del PNN</li> </ul>

Continúa ...

CRONO- TOPO	TIEMPO- ESPACIO	ACTORES / ACCIONES	TERRITORIALIDAD RELACIONES SOCIALES DE VALOR-DE CONTROL-DE PODER	TERRITORIALIZACIÓN DEL ECOTURISMO
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejército Nacional</li> <li>- Enfrentó y desplazó Grupos Armados Ilegales (GAI)-ELN-FARC hacia los Llanos Orientales</li> <li>• PN y Ministerio Ambiente</li> <li>- Formularon políticas ambientales y de ecoturismo</li> <li>• PN</li> <li>- Instaló infraestructura y gestionó el ecoturismo</li> <li>• Prestadores de servicios ecoturísticos</li> <li>- Promocionaron el Turismo en el Parque</li> <li>- Nace el primer grupo de Guardaparques Voluntarios Comunitarios y organizaciones comunitarias prestadoras de Servicios Ecoturísticos</li> </ul>	<p>su <i>poder</i> a través de sus instituciones</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Activó la economía de la región</li> <li>- Formuló e implementó políticas ambientales y de turismo-promoción-campañas (relación de valor, utilitaria y funcional)</li> <li>• PN y prestadores de servicios ecoturísticos</li> <li>- Tienen el <i>control</i> sobre la gestión del turismo</li> <li>• Campesinos</li> <li>- Viven y trabajan dentro y fuera del PNN, se benefician del turismo</li> <li>• Turistas y montañistas</li> <li>- Turismo-deporte-recreación-aventura (relación de valor: utilitaria y funcional-simbólica y cultural)</li> <li>- Campesinos se emplean como guías y porteros con sus caballos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se adecuaron senderos, señalización en madera, cerámica y mojones en piedra</li> <li>• Se definieron lugares para <i>camping</i>, fogatas y caballos</li> <li>• La variación porcentual en el ingreso de visitantes entre 2002 y 2006 fue de 2.704.3%</li> <li>• Visitantes ampliando y compactando los senderos, ingresando al glaciar</li> <li>• Vuelta a la Sierra por el costado oriental, visitantes y montañistas permanecían hasta 15 días</li> <li>• No hay baños públicos, no se entierra la materia fecal, no se manejan residuos orgánicos (restos de alimentos) lo que generó impactos socio-ambientales por mal manejo de residuos sólidos y orgánicos</li> </ul>

CRONO- TOPO	TIEMPO- ESPACIO	ACTORES / ACCIONES	TERRITORIALIDAD RELACIONES SOCIALES DE VALOR-DE CONTROL-DE PODER	TERRITORIALIZACIÓN DEL ECOTURISMO
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Turistas</li> <li>- Aumentó su ingreso de 162 en 2002 a 4 543 en 2006</li> <li>• Montañistas</li> <li>- Aumentaron sus prácticas de ascenso y escala al glaciar, vuelta a la Sierra (permanencia hasta de 15 días dentro del PNN)</li> <li>• Gobernación Boyacá</li> <li>- Mejoraron las vías</li> <li>• Corpoboyacá</li> <li>- Capacitó a promotores ecoturísticos</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminación de fuentes de agua</li> <li>• Ingresan caballos al PNN</li> <li>• Adecuación de posadas y miradores de campesinos dentro del PNN para hospedaje y alimentación de turistas</li> </ul>
C2 Intensificación del conflicto armado	2007 costado oriental del PNN- Área influencia Santander-Arauca-Casanare	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grupos Armados Ilegales (GAI)-FARC-ELN atentaron contra multinacionales petroleras y Ecopetrol, delitos a oleoductos (hurto hidrocarburo, extorsiones, voladuras)</li> <li>- Tránsito de coca, armas, personas y secuestrados hacia la frontera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aunque los GAI no se relacionan directamente con la gestión del turismo, su presencia y control en las áreas de influencia o en el PNN afecta las condiciones de seguridad y, por ende, el turismo disminuye el ingreso de visitantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La variación porcentual en el ingreso de visitantes de 2006 a 2007 fue negativa, -32.36%. La reducción de visitantes posiblemente se deba a las acciones de los GAI en áreas de influencia al PNN por el costado oriental (voladuras a oleoductos, rutas de</li> </ul>

*Continúa ...*

CRONO- TOPO	TIEMPO- ESPACIO	ACTORES / ACCIONES	TERRITORIALIDAD RELACIONES SOCIALES DE VALOR-DE CONTROL-DE PODER	TERRITORIALIZACIÓN DEL ECOTURISMO
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ejército aumentó, enfrentó y desplazó a GAI</li> <li>- GAI se enfrentaron a paramilitares</li> <li>- Estados Unidos y el Estado protegen multinacionales petroleras, a través del Plan Colombia</li> <li>PN</li> <li>- Prestadores de servicios ecoturísticos</li> <li>• Alcaldías</li> <li>- Primer ejercicio, ordenar el ecoturismo</li> <li>• Gobernación</li> <li>- Alcaldías promueven clúster turístico provincia Gutiérrez</li> <li>• Campesinos</li> <li>- Practican la agricultura en menor porcentaje y se dedican más a la ganadería y al turismo en temporada alta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los GAI controlan áreas y rutas en frontera y las intermediaciones del costado oriental PNN-Santander-Arauca</li> <li>• Para los GAI el PNN es un corredor estratégico hacia los Llanos y Venezuela (relación de valor <i>utilitaria-funcional</i>)</li> <li>• El Estado a través de la Gobernación de Boyacá y sus alcaldías junto con PN intentaron ordenar el turismo en la provincia de Gutiérrez</li> </ul>	<p>tránsito y tráfico de armas, coca, personas y secuestrados hacia la frontera)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Primer ejercicio de ordenamiento del ecoturismo PN-operadores turísticos-alcaldías</li> <li>• Propuesta provincial de desarrollo ecoturístico con participación de los municipios de Chiscas, El Espino, Guacamayas, Panqueba, Güicán, El Cocuy y Chita, llamada Semilla Andina, que busca crear un <i>clúster turístico provincial</i>, con la promoción de los valores naturales y culturales de los municipios de la provincia de Gutiérrez y el municipio de Chita en la provincia de Valderrama</li> </ul>

CRONO- TOPO	TIEMPO- ESPACIO	ACTORES / ACCIONES	TERRITORIALIDAD RELACIONES SOCIALES DE VALOR-DE CONTROL-DE PODER	TERRITORIALIZACIÓN DEL ECOTURISMO
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Turistas</li> <li>- Disminuyen de 4 543 (2006) a 3 073 (2007), posiblemente por la presencia y acción de los GAI, o por cambios de gobierno y reducción de recursos financieros y humanos para el parque dificultando su registro</li> </ul>		
C3 Re-activación del turismo	2008-2010 Costado Occidental	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejército</li> <li>- Continúo la Política Seguridad Democrática (segundo periodo Uribe)</li> <li>• PN</li> <li>- Formuló estudios</li> <li>• Capacidad de carga</li> <li>- Anunció impactos negativos ante el incremento exponencial de visitantes</li> <li>• PN</li> <li>- Mejoró los senderos, se divulgó el parque por internet, se promovió el consumo de servicios locales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejército mantiene el <i>control territorial</i> del PNN</li> <li>• Estado continuó con la política de seguridad democrática</li> <li>- Se incrementó la activación económica de la región (relación de valor, utilitaria y funcional)</li> <li>• PN y prestadores de servicios ecoturísticos tienen el <i>control</i> sobre la gestión del turismo</li> <li>• Estado ejerce su poder a través de sus instituciones: activa la</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La variación porcentual en el ingreso de visitantes entre 2008 y 2010 fue de 147.48%</li> <li>• Modificación de uso del suelo</li> <li>• Aumento de hoteles, posadas, restaurantes, empresas de transporte, oficinas de operadores turísticos locales y foráneos, en las cabeceras municipales</li> <li>• Comenzó lo que podríamos llamar una <i>territorialización virtual</i> con la presencia del parque en las webs</li> </ul>

*Continúa ...*

CRONO- TOPO	TIEMPO- ESPACIO	ACTORES / ACCIONES	TERRITORIALIDAD RELACIONES SOCIALES DE VALOR-DE CONTROL-DE PODER	TERRITORIALIZACIÓN DEL ECOTURISMO
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• PN-SENA Málaga iniciaron la tecnología en Guianza Turística con énfasis en el parque</li> <li>• Operadores locales y foráneos (hoteles-restaurantes-transporte) aumentaron su presencia dentro del PNN y en las cabeceras de Cocuy y Güicán</li> <li>- Gestionando el turismo campesinos-guías-arrieros. Fueron guías e ingresaban con caballos</li> <li>- En temporada alta ingresaban 200 caballos por día por cada sendero al parque</li> <li>- 60 familias beneficiadas</li> <li>• Turistas</li> <li>- Ascenso al Nevado se duplican en tres años de 3 073 a 7 605 visitantes</li> </ul>	<p>economía de la región</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• MICT-Gobernación</li> <li>- Activación de anillos turísticos</li> <li>- Capacitación SENA (relación de valor-utilitaria-funcional)</li> </ul>	<p>institucionales y de operadores turísticos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Créditos para ampliación de posadas campesinas, construcción de chalets y miradores, servicio de hospedaje y alimentación dentro y fuera del parque</li> <li>• Informe impactos negativos turismo: transformación paisaje, compactación suelo, erosión y anegamiento del suelo, aumento tamaño senderos y deterioro de los mismos, pérdida biodiversidad ingreso caballos, consumo de frailejones, alteración ecosistema páramo, excretas caballos</li> <li>• Necesidad de un monitoreo participativo comunidad impacto actividad</li> </ul>

CRONO- TOPO	TIEMPO- ESPACIO	ACTORES / ACCIONES	TERRITORIALIDAD RELACIONES SOCIALES DE VALOR-DE CONTROL-DE PODER	TERRITORIALIZACIÓN DEL ECOTURISMO
C4 Atentados al extrac- tivismo de hi- drocar- buros	2011 Costado Oriental -Arau- ca-Nor- te de Santan- der	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GAI-FARC-ELN</li> <li>- Delitos oleoducto Caño Limón-Coveñas (hurto hidrocarburo, voladuras extorsiones, secuestros), atentan contra multinacionales petroleras</li> <li>- ECOPEPETROL</li> <li>• Estado aumentó Ejército para garantizar seguridad de petroleras con el argumento de aumentar la explotación y explotación para activar economía del país</li> <li>• PN-USAID-Programa Paisajes de Conservación publicaron <i>Guía Metodológica</i> para el monitoreo de los impactos del ecoturismo y determinar la Capacidad de Carga Turística (CCT) aceptable en el Parque Nacional Natural El Cocuy Boyacá-Colombia (Calderón, 2011)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El Estado trata de mantener el <i>control territorial</i>, pero las disputas con los GAI del otro costado del PNN, afectan las condiciones de seguridad, por ende, el turismo</li> <li>• Estado continúa con la Política de Seguridad Democrática (relación de valor-utilitaria-funcional)</li> <li>• PN contrató identificación de impactos ambientales del turismo y definición de CCT de los senderos. Se contrató el primer POE (2011)</li> <li>• Estos descensos en el ingreso de visitantes, coinciden con periodos de cambio de gobierno nacional, con recortes presupuestales institucionales y con tener menos recursos humanos en el AP para llevar el registro de ingresos de visitantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La variación porcentual en el ingreso de visitantes de 2010 a 2011 fue negativa, -14.08%</li> <li>• Definición Capacidad de Carga Turística (CCT), por sector/día</li> <li>- Sector Ritakuwas: CCT 108 personas/día y 71 caballos/día</li> <li>- Tres grandes casas de guías, las Cabañas Kanwara, Posadas Sierra Nevada y Peñas Blancas con la prestación de servicios de hospedaje, alimentación, guianza, alquiler de caballos</li> <li>- Sector La Esperanza: CCT 220 personas/día y 147 caballos/día</li> <li>- Hacienda La Esperanza, Altos de la Capilla</li> <li>- Sector Lagunillas: Púlpito del Diablo, El Hotelito, Pan de Azúcar</li> </ul>

*Continúa ...*

CRONO- TOPO	TIEMPO- ESPACIO	ACTORES / ACCIONES	TERRITORIALIDAD RELACIONES SOCIALES DE VALOR-DE CONTROL-DE PODER	TERRITORIALIZACIÓN DEL ECOTURISMO
				CCT 165 personas/día y 103 caballo - Sector Púlpito del Diablo, El Conejo, Pan de Azúcar 239 personas - Cabaña Sisuma cons- truida desde 1987 por PN, con capacidad para 20 personas concesión comunitaria - ASEGUCOC hasta 2019
C5 Intensi- ficación del turismo	2012- 2015 Costado Occi- dental	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PN-USAID</li> <li>- Instaló vallas infor- mativas</li> <li>- Parque realizó estudios de capacidad de carga, impacto turismo y restauración ecológica</li> <li>- En 2013 aumentó recurso humano del parque debido al incre- mento de visitas</li> <li>- Se prohibió el ingreso de equinos, los u'wa prohíben el Sendero de la Vuelta a la Sierra,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El Estado tiene <i>control territorial</i> en el parque - Incrementa políticas neoliberales extractivistas petróleo, gas, turismo en AP (relación de valor- utilitaria-funcional)</li> <li>• Operadores locales y foráneos (hoteles, res- taurantes, transporte) gestionan el turismo en el PNN (relación de valor- utilitaria-funcional)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La variación porcen- tual en el ingreso de visitantes entre 2011 y 2015 fue de 183.13%</li> <li>- Vallas informativas dentro del PNN</li> <li>- Impactos negativos del turismo</li> <li>- Transformación del paisaje: ampliación del sendero, compactación del suelo, pérdida de la biodiversidad, despla- zamientos de fauna, contaminación auditiva, contaminación atmos- férica.</li> </ul>

CRONO- TOPO	TIEMPO- ESPACIO	ACTORES / ACCIONES	TERRITORIALIDAD RELACIONES SOCIALES DE VALOR-DE CONTROL-DE PODER	TERRITORIALIZACIÓN DEL ECOTURISMO
		<p>la pesca deportiva, se hace obligatorio registro y capacitación para ingreso al PNN</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Operadores turísticos                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Turismo desbordado, no regulado, alto impacto</li> </ul> </li> <li>• Turistas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Más de 65, 000 en tres años, ingresos sin registro, se permitía pernoctar, escalar, la vuelta a la Sierra, cruce por resguardos indígenas (OCA, 2017; Vila, 2017)</li> </ul> </li> <li>• Campesinos                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 200 caballos ascendiendo por cada sendero al parque</li> <li>- 60 familias beneficiadas</li> <li>- Se prohíbe desde 2013</li> </ul> </li> <li>• Operadores locales y foráneos (hoteles, restaurantes, transporte)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PN y Operadores Turísticos pierde el control de la actividad turística en el PNN, no se cumplen los objetivos de la conservación, los impactos del turismo se hacen evidentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contaminación del recurso hídrico excretas humanas y de caballos, contaminación residuos sólidos</li> <li>• Impactos del turismo en los municipios                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modificación uso del suelo, aumento de hoteles, posadas, restaurantes, empresas de transporte, operadores turísticos locales y foráneos, en las cabeceras municipales, aumentaron precios de viviendas</li> <li>- Aumento consumo de agua, aumento consumo de energía, demanda mayores y mejores alojamientos, servicios de alimentación, desabastecimiento alimentos</li> </ul> </li> </ul>

*Continúa ...*

CRONO- TOPO	TIEMPO- ESPACIO	ACTORES / ACCIONES	TERRITORIALIDAD RELACIONES SOCIALES DE VALOR-DE CONTROL-DE PODER	TERRITORIALIZACIÓN DEL ECOTURISMO
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumentaron su presencia dentro del PNN y en las cabeceras Cocuy y Güicán</li> <li>- Gestionan el turismo</li> </ul>		
<p>C6 Colapso del turismo y cierre del PNN El Cocuy</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entre febrero y julio de 2016</li> <li>• Ruta al Pulpito del Diablo-Sector Occidental</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Turistas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Jugando futbol en el glaciar</li> <li>- Irrespeto a Zisuma (Nevado)</li> <li>- Campesinos rompen el camino de ingreso al PNN por irrespeto al Nevado, frente a los impactos negativos del turismo, en especial, sobre el recurso hídrico se solicita el cierre, frente a la falta de control sobre esta actividad</li> <li>- Indígenas u'wa se unen y cierran otros caminos, se exige estudio sobre los impactos ambientales del turismo</li> </ul> </li> <li>• PN                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cierra parque</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Campesinos e indígenas toman el <i>control</i> del PNN por las vías, de hecho, ejercen su poder con la ruptura de caminos y el cierre del parque, por vías pacíficas exigen que se cierre el Parque y se prohíba el turismo por irrespeto a Zisuma (relación de valor simbólica-cultural)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La variación porcentual en el ingreso de visitantes de 2015 a 2016 es negativa, -58.83%, reducción de visitantes por el cierre</li> <li>• Campesinos rompen el camino que da ingreso al sendero de Pulpito del Diablo</li> <li>• La guardia indígena u'wa cierra los otros caminos de ingreso al PNN</li> <li>• Se instalan mesas de diálogo intercultural entre el Alto Gobierno y la nación u'wa, no solo en temas de turismo, además se incluyó explotación de hidrocarburos, saneamiento predial de los resguardos, vías y otros</li> </ul>

CRONO- TOPO	TIEMPO- ESPACIO	ACTORES / ACCIONES	TERRITORIALIDAD RELACIONES SOCIALES DE VALOR-DE CONTROL-DE PODER	TERRITORIALIZACIÓN DEL ECOTURISMO
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Campesinos, indígenas / parques, alcaldías, Gobernación, asociaciones</li> <li>- Instalan mesas de diálogo intercultural donde se trataron temas de turismo, así como de explotación de hidrocarburos, de pavimentación de vías, de saneamiento predial del resguardo, y otras exigencias de la comunidad u'wa</li> <li>- En los tres primeros meses del año, antes del cierre, ya habían ingresado 7 617 visitantes</li> </ul>		<p>Inicialmente la mesa se instala en Cocuy con campesinos, luego la comunidad u'wa solicita su traslado a Cubará (municipio de mayoría indígena)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parques Nacionales emite cierre, Res. 401 del 29 de julio de 2016</li> </ul>

*Continúa ...*

CRONO- TOPO	TIEMPO- ESPACIO	ACTORES / ACCIONES	TERRITORIALIDAD RELACIONES SOCIALES DE VALOR-DE CONTROL-DE PODER	TERRITORIALIZACIÓN DEL ECOTURISMO
C7 Retoma por parte de Presta- dores de Ser- vicios Turís- ticos y reaper- tura del PNN El Cocuy	2017 entre enero y abril  Cabece- ras muni- cipales Cocuy y Güicán	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prestadores de Servicios Turísticos, algunos campesinos y propietarios de hoteles y restaurantes retoman el PNN. Denunciaron ante PN sus pérdidas económicas y la dependencia del turismo</li> <li>• PN emitió Res. 118 del 6 de abril de 2017 para reapertura parque y reglamento</li> <li>• Campesinos, indígenas, parques, alcaldías, gobernación, asociaciones</li> <li>- Mantiene mesas de diálogo intercultural por más de un año</li> <li>• El pueblo indígena u'wa solicitó un estudio del impacto del turismo. Convenio PN-UPTC estudió presiones antrópicas y naturales en la cuenca alta del río Nevado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prestadores de Servicios Turísticos y algunos campesinos retoman y exigen reapertura del PNN, luego de más de un año de mesas de diálogo</li> <li>• PN retomó el control del parque</li> <li>- Ejerció su poder con nueva reglamentación del turismo resultado de las mesas de negociación, se exigió el registro de visitantes y se creó el Registro de Prestadores de Servicios Ecoturísticos (RPSE)</li> <li>- Se exigió la obligatoriedad de la charla de inducción al visitante</li> <li>- Prestadores de Servicios Turísticos, algunos campesinos, hoteles, restaurantes, comercio, artesanos dependen del turismo</li> <li>(relación de valor: utilitaria-funcional-simbólica-cultural)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se emitió la Resolución de Reapertura del PNN, con restricción del turismo a tres senderos y con el reglamento temporal con restricciones al turismo relacionadas con la prohibición dentro del parque de: ingreso de caballos, pernoctar, hacer fogatas, tocar la nieve y deslizarse en ella, en general, toda actividad de senderismo deberá realizarse a 50 m de distancia del glaciar</li> <li>• Se reajustó la CCT de todo el PNN a 306 visitantes/día</li> </ul>

CRONO- TOPO	TIEMPO- ESPACIO	ACTORES / ACCIONES	TERRITORIALIDAD RELACIONES SOCIALES DE VALOR-DE CONTROL-DE PODER	TERRITORIALIZACIÓN DEL ECOTURISMO
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2017 PN creó registro para prestadores de servicios asociados al ecoturismo en áreas con vocación ecoturística</li> <li>- Se iniciaron las capacitaciones a los guías profesionales e intérpretes del patrimonio natural y cultural</li> <li>- Turistas, algunos ponen en riesgo la reapertura incumpliendo el reglamento al ingresar nuevamente al glaciar</li> <li>- Asociación de indígenas reclamó de nuevo ante PN, por irrespeto de turistas a Zisuma</li> </ul>		
C8 El turismo, el nuevo petróleo de Colombia	2018-2019 Territorio turístico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estado impulsó el turismo, luego de la firma del Acuerdo de Paz con las FARC</li> <li>• MICT lanzó 12 corredores turísticos</li> <li>• El Parque hace parte del Corredor Turístico Central</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PN ejerció el <i>control</i> en el parque y retoma la gestión del turismo con una nueva reglamentación</li> <li>• MICT, Gobernación Boyacá, Cámara Comercio promocionan el turismo en la región</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La variación porcentual en el ingreso de visitantes entre 2017 y 2019 fue de 113.64%</li> <li>• Resultados Convenio PN-UPTC: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Disminución de la población en los municipios de Güicán y Cocuy, una</li> </ul> </li> </ul>

*Continúa ...*

CRONO- TOPO	TIEMPO- ESPACIO	ACTORES / ACCIONES	TERRITORIALIDAD RELACIONES SOCIALES DE VALOR-DE CONTROL-DE PODER	TERRITORIALIZACIÓN DEL ECOTURISMO
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presidente anunció: “Turismo será nuevo petróleo de Colombia” (2018)</li> <li>- Se desarrolló convenio PN-UPTC para estudio de presiones antrópicas y naturales, cuenca alta río Nevado</li> <li>- Se llevó a cabo la Fase I diagnóstico 2018</li> <li>• La UPTC-PNN en la determinante de turismo estimó un recaudo total por conceptos directos e indirectos para el año 2017, en 1 726 187 836 millones de pesos colombianos</li> <li>- Percepción desfavorable del ecoturismo para los campesinos por su exclusión de la actividad, el informe reportó un impacto negativo sobre el recurso hídrico, en mayor parte derivado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PN-UPTC socializaron los resultados del convenio sector primario agrícola y pecuario</li> <li>• Sector terciario el ecoturismo, no se identifica mayor impacto del turismo en el área protegida</li> </ul>	<p>alta migración rural a lo urbano o a otros lugares</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Disminución de población en edad laboral. Nivel de formación bajo. Se reconoce el potencial económico del turismo, pero la percepción de los lugareños no es favorable, reciben los impactos negativos y no participan de los beneficios económicos. Baja favorabilidad de la gestión institucional, PN, autoridad ambiental y entes territoriales, visión negativa de las autoridades, políticas mal socializadas y ejecutadas (2020, p. 275)</li> </ul>

CRONO- TOPO	TIEMPO- ESPACIO	ACTORES / ACCIONES	TERRITORIALIDAD RELACIONES SOCIALES DE VALOR-DE CONTROL-DE PODER	TERRITORIALIZACIÓN DEL ECOTURISMO
		de la actividad ganadera y de la agricultura, sugiere potabilización del agua para consumo humano y monitoreo permanente		
C9 Cierres temporales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2020 febrero Boyacá-Arauca-inmediaciones PNN</li> <li>• 10 de marzo al 10 de diciembre Costado Occidental</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PN cerró el PNN por condiciones de seguridad</li> <li>- Asesinato funcionario de parques y líder comunidad</li> <li>- Enfrentamientos del Ejército con el ELN, disidencias de las FARC en Arauca</li> <li>• Gobernación de Boyacá, Parques Nacionales y operadores gestionaron reapertura, Res. 125 del 5 de marzo de 2020</li> <li>• PN nuevamente cerró el PNN por declaratoria de pandemia del 10 de marzo al 10 de diciembre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El Estado pierde control sobre el PNN frente a intervenciones de GAI-ELN</li> <li>• Fortalecimiento del ELN en la región ABC (Arauca, Boyacá y Casanare)</li> <li>• Luego de la firma del Acuerdo de Paz, el Gobierno (2018-2022) no continuó con las mesas de negociación con el ELN, se presentan disputas entre estos y las disidencias de las ELN en frontera, así como con el Ejército, quedando campesinos y guardaparques en medio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se cerró el PNN por seguridad, muerte de funcionario de PN y líder comunitario</li> <li>• Resolución de reapertura 125 del 25 de marzo 2020</li> <li>• Se estableció horario de ingreso al PNN de 6:00 am 8:00 am, luego de las 8:00 am ningún visitante ni prestador de servicio ecoturístico ingresa. El descenso comienza a la 1:00 pm. Luego de las 5:00 pm no debe permanecer ningún visitante ni guía, no pernoctar, no acampar</li> </ul>

*Continúa ...*

CRONO- TOPO	TIEMPO- ESPACIO	ACTORES / ACCIONES	TERRITORIALIDAD RELACIONES SOCIALES DE VALOR-DE CONTROL-DE PODER	TERRITORIALIZACIÓN DEL ECOTURISMO
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• UPTC-PN publican libro con los resultados del convenio “generar información geo-ambiental, hidrológica, ecosistémica, paisajística, socioeconómica y de comunicación en aras de establecer las presiones antrópicas y naturales en el PNN El Cocuy, cuenca alta del río Nevado”</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Igualmente se consideró necesario el acompañamiento de la Procuraduría General de la Nación sobre la competencia de los alcaldes y gobernadores en la seguridad de los PNN y la reglamentación de los operadores turísticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cierre de todos los parques por pandemia, hasta el 10 de diciembre de 2020</li> <li>- Impacto en el sector, en la economía de los municipios, la región y el país</li> </ul>

Fuente: elaboración propia

## DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

La definición de cronotopos, algunos cortos y otros largos se hizo tanto con fuentes primarias como secundarias, enriquecidas con datos cuantitativos y cualitativos. Tal vez, uno de los resultados más significativos en la aplicación de los cronotopos como metodología a diferencia, por ejemplo, de las líneas de tiempo, es que en los cronotopos no solo se conjunta de manera indisoluble el tiempo y el espacio, sino los actores y las acciones, así como sus relaciones. Por ejemplo, en cada cronotopo se identificaron diversos actores, algunos de ellos, actores directos involucrados en la práctica turística y otros indirectos, cuyas acciones dentro o fuera del parque afectan o condicionan dicha actividad. Esta diversidad de actores y su conflictividad son la respuesta a sus diferentes intereses, cosmovisiones y lógicas, tanto de ocupación y apropiación territorial de un mismo espacio geográfico, como de su uso y aprovechamiento;

lógicas mediadas por sus territorialidades, es decir, por sus relaciones sociales de valor (Monet, 2013), de control (Sack, 1986) y de poder (Raffestin, 2011), que anteceden un proceso de territorialización de un turismo joven, poco organizado, poco regulado a comienzos de este siglo que se salió de control, bastante conflictivo por su impacto ambiental y social en el reparto inequitativo de los beneficios económicos y de baja vinculación de los diversos actores en la cadena de valor, pero sobre todo re-ordenador / re-configurador del territorio turístico.

Asimismo, la lectura de los cronotopos en conjunto con sus picos y valles dejan ver la dinámica e intensidad del conflicto, tanto en el corto como en el largo plazos, pues se trata de una cadena de acontecimientos que no clausuran el problema, objetivo final que persigue el Estado mediante su institucionalidad. Es importante resaltar que el conflicto no desaparece, se atenúa o se intensifica según se manifiesten las contradicciones de los diversos actores. Por tanto, es importante ver los resultados positivos del conflicto, tal como lo propusieron Simmel (2010) o Coser (1982), puesto que en este caso, en la matriz es imposible identificar las transformaciones ambientales, sociales y territoriales derivadas de la conflictividad, así como de la normatividad y la regulación del turismo, a partir de 2017 con el cierre y la reapertura del parque.

Definitivamente, hacen parte de los saldos redistributivos del conflicto como positivos, las siguientes transformaciones sociales y territoriales: el conocimiento y el reconocimiento de los actores, intereses, cosmovisiones, funciones, debilidades, fortalezas, formas de organización y gobernanza ambiental, así como de ocupación y ordenación del territorio. La arena política a la que fue escalado el conflicto al llevarlo al espacio público y hacerlo visible en los medios de comunicación, desde el orden local, hasta el nacional e internacional. Los espacios interinstitucionales de participación, como las mesas de negociación con la presencia de delegados de alto nivel en representación de los diferentes actores. Los acuerdos alcanzados luego de un año de negociaciones, adoptados a través de las resoluciones de reapertura y el nuevo reglamento del parque que condicionó el ecoturismo a una posible práctica más sostenible, al priorizar la defensa del territorio y la protección de bienes comunes frente a la implementación de un modelo neoliberal de turismo basado en el crecimiento exponencial de visitantes, como se observa en los cronotopos 1, 3 y 5.

En cuanto a las transformaciones sociales resultado de la conflictividad, el cronotopo seis es el punto de inflexión más importante del ecoturismo en el parque,

ya que la resistencia pacífica de algunos campesinos e indígenas quienes manifestaron su oposición e inconformidad, en 2016, frente a esta actividad económica condujo a exigir una mayor presencia y regulación por parte del Estado en el parque, hechos que condujeron a mesas de concertación permanentes entre los actores involucrados; lo que dio como resultado un nuevo reglamento que condicionó la práctica ecoturística de pasadía, al borde de nieve y restringida a tres senderos, en coherencia con los objetivos de la conservación e intereses y cosmovisiones de los diferentes actores relacionados con el turismo, en especial, la cosmovisión indígena que considera sagrado a Zisuma (Nevado), como se describe el cronotopo siete, que contiene la transformación territorial más significativa, al reconfigurarse el territorio de vocación turística dentro del área protegida, pues esta nueva reglamentación ayudó a concienciar a los diversos actores, puesto que todo turismo debe ser sostenible, en especial, en estos ecosistemas frágiles frente al acelerado retroceso de los glaciares ecuatoriales, cuyo reloj se encuentra invertido frente a su extinción en menos de dos o tres décadas. Recordemos que *educar y sensibilizar* son funciones del ecoturismo según su definición en la Ley 300 de 1996.

Ahora bien, en el parque siempre ha estado presente el ELN, según los cronotopos dos, cuatro y nueve, este es un actor indirecto que afecta el desarrollo de la práctica turística, por ende, es necesario que el Estado retome las mesas de negociación de paz con este actor, que se venían adelantado en 2016, ya que según el cronotopo nueve, en febrero de 2020 se vio un retorno de la violencia a los PNN, que según Ávila (2019) obedece a un fortalecimiento de esta guerrilla en la denominada región ABC (Arauca, Boyacá y Casanare) con movilidad hacia Venezuela, pues, sin paz no puede haber turismo.

Para finalizar, un turismo asumible por todos precisa la paz, pero también la concertación entre los diversos actores, por tanto, es necesaria una mesa permanente de diálogo intercultural e igualmente es precisa la armonización y articulación entre lo nacional, lo departamental y lo local. En tanto que es un Parque Nacional Natural, que sigue lógicas institucionales globales que deben dialogar con las lógicas locales. Con tantos actores y tantos intereses en juego es difícil el fin del conflicto, pero si es factible rebajar su intensidad y sus impactos.

## REFERENCIAS

- Alfonzo, I. (1994). *Técnicas de investigación bibliográfica*. Contexto Editores.
- Ávila Martínez, A. (2019). *Detrás de la guerra en Colombia*. Editorial Planeta.
- Bajtín, M. (1989). Las formas del tiempo y del cronotopo en la novela. *Ensayos de poética histórica. Teoría y estética de la novela*. Taurus, pp. 237-409.
- Caracol Radio Tunja. (18/03/2016). *Bloqueo de campesinos en Nevado del Cocuy, deja sin acceso a miles de turistas en Colombia*. [https://caracol.com.co/emisora/2016/03/18/tunja/1458321797\\_899006.html](https://caracol.com.co/emisora/2016/03/18/tunja/1458321797_899006.html)
- Caviedes Rubio, D. y Olaya Amaya, A. (2017). Ecoturismo en áreas protegidas de Colombia: una revisión de impactos ambientales con énfasis en las normas de sostenibilidad ambiental. *Revista Luna Azul*. [En línea.] 46, pp. 311-330. <https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/lunazul/article/view/3271>
- Calderón Ramírez, D. (2010). *Determinación de la capacidad de carga aceptable de los sitios ecoturísticos del costado occidental del Parque Nacional Natural El Cocuy (Boyacá) Colombia*. Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia.
- Coser, L. (1961). *Las funciones del conflicto social*. Fondo de Cultura Económica.
- Durán López, G. (2016). *Conflicto socio-ambiental en el territorio u'wa: un análisis del conflicto entre indígenas y Estado colombiano en torno al desarrollo, el medio ambiente y la cultura*. [Tesis doctoral.] Universidad Complutense de Madrid. <https://eprints.ucm.es/39470/1/T37846.pdf>
- Elder, G. (1989). *Life course dynamics: trajectories and transitions, 1968-1980*. Cornell University Press.
- Elias, N. y Scotson, J. (2016). *Establecidos y marginados. Una investigación sociológica sobre problemas comunitarios*. Fondo de Cultura Económica.
- El Espectador*. (14/10/2018). *Presidente Duque dice que el turismo es “el nuevo petróleo” de Colombia*. <https://www.elespectador.com/economia/presidente-duque-dice-que-el-turismo-es-el-nuevo-petroleo-de-colombia-articulo-817960>
- El Espectador*. (05/03/2020). *Abren, nuevamente, el Parque Natural El Cocuy*. <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/abren-nuevamente-el-parque-natural-el-cocuy-articulo-907916/>
- El Espectador*. (27/03/ 2023). *Nuevo ataque del EIN contra el oleoducto Caño Limón-Coveñas en Boyacá*. <https://www.elespectador.com/judicial/nuevo-ataque-del-eln-contra-el-oleoducto-cano-limon-covenas-en-boyaca/>

- El Tiempo.com* (25/02/2001). *Parques naturales, paraísos perdidos*. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-604050>
- El Tiempo.com* (22/02/2020). *¿Por qué el Gobierno no habla de lo que ocurre en Parques Nacionales?* <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/por-que-el-gobierno-no-habla-de-lo-que-ocurre-en-parques-nacionales-465076>
- El Tiempo.com*. (2013). *Los últimos 6 nevados*. <http://www.eltiempo.com/Multimedia/especiales/nevados/nevados.html#>
- Gamba Barón, O. (2017). *Cosmografía, territorio y paisaje indígena: formas de apropiación material y simbólica del territorio en la comunidad u'wa de Tegría*. [Proyecto tesis maestría.] Universidad Nacional de Colombia. [https://www.academia.edu/37042185/Cosmografia\\_territorio\\_y\\_paisaje\\_indigena](https://www.academia.edu/37042185/Cosmografia_territorio_y_paisaje_indigena)
- Guarnizo, J. y Castro, C. (22/02/2020). *El doloroso llanto del Nevado*. *Revista Semana*. <https://especiales.semana.com/el-eln-en-el-nevado-del-cocuy-la-historia-de-un-guardaparques-asesinado/index.html>
- Gutiérrez Rey, F. [Comp.] (2020). *Zisuma. Parque Nacional Natural El Cocuy. Cuenca Alta del Río Nevado*. Tunja. Editorial UPTC.
- Haesbaert, R. (2011). *El mito de la desterritorialización: del fin de los territorios a la multiterritorialidad*. Siglo XXI.
- IDEAM. (2012). *Glaciares de Colombia, más que montañas con hielo*, pp. 344.
- Medina, H. (2016). *Rechazo a partido de fútbol en la sierra nevada del Cocuy*. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16524163>
- Ministerio de Cultura. (12/2014). *U'wa, gente inteligente que sabe hablar*. <http://observatorioetnicocecoin.org.co/cecoin/files/Caracterizaci%C3%B3n%20del%20pueblo%20U%C2%B4wa.pdf>
- Monet, J. (2013). *El territorio reticular*. En Nates, B. [Coord.]. *Enfoques y métodos en estudios territoriales*. RETEC / Doctorado de Estudios Territoriales de la Universidad de Caldas, pp. 137-167.
- Observatorio de Conflictos Ambientales. (15/03/2017). *Turismo- Nación u'wa-PNN El Cocuy- Boyacá, Arauca y Casanare*. Instituto de Estudios Ambientales-IDEA/Universidad Nacional de Colombia.
- Páramo, P. (2010). *Investigación documental y estado del arte*. Universidad Piloto de Colombia.
- Parques Nacionales Naturales. (2002-2009). *Parques Nacionales. Región Andes Nororiental. Parque Nacional Natural el Cocuy. Descripción del Área*. <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/ecoturismo/region-andina/parque-nacional-natural-el-cocuy-3/>

- Parques Nacionales Naturales. (29/07/2016). Resolución 401. Por medio de la cual se prohíbe temporalmente el ingreso de visitantes, prestadores de servicios turísticos y de personas no autorizadas al Parque Nacional Natural El Cocuy. [https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2015/04/res\\_401\\_2016.pdf](https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2015/04/res_401_2016.pdf)
- Parques Nacionales Naturales. (06/04/2017). Resolución 118. Por medio de la cual se levanta la medida impuesta mediante Resolución 401 del 29 de julio de 2016 y se dicta la reglamentación temporal y parcial para el ingreso de visitantes al PNN El Cocuy. <https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/12/118.pdf>
- Parques Nacionales Naturales. (2018). *Ecoturismo. Ecoturismo así vamos. Registro de visitantes 2002-2018*. [En línea.] <https://storage.googleapis.com/pnn-web/uploads/2013/11/HIST%C3%93RICO-VISITANTES-2002-2018-Total.pdf>
- Parques Nacionales Naturales. (2019). *Ecoturismo. Ecoturismo así vamos. Registro de visitantes 2003-2019*. [En línea.] <https://storage.googleapis.com/pnn-web/uploads/2013/11/HIST%C3%93RICO-VISITANTES-2002-2019.pdf>
- Parques Nacionales Naturales. (2021). Plan de Ordenamiento Ecoturístico Parque Nacional Natural El Cocuy 2021-2025.
- Peña Reyes, L. (2008). Reflexiones sobre las concepciones de conflicto en la geografía humana. *Cuaderno de Geografía. Revista Colombiana de Geografía*, 17, pp. 89-115.
- Portafolio*. (07/03/2011). Oleoducto Caño Limón-Coveñas restableció el bombeo de petróleo tras parálisis de siete días por atentado. <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/oleoducto-cano-limon-covenas-restablecio-bombeo-petroleo-paralisis-siete-dias-atentado-130484>
- Revista Semana*. (14/01/2017). *La pelea por El Cocuy*. <http://www.semana.com/nacion/articulo/cierre-del-parque-natural-el-cocuy/512088>
- Revista Semana*. (25/04/2017). *Turista que puso en riesgo la apertura de El Cocuy se disculpa*. <http://www.semana.com/nacion/articulo/habla-turista-que-piso-nieve-del-nevado-de-el-cocuy-y-que-puso-en-riesgo-la-reapertura-del-parque/523127>
- Rojas, T. (24/02/2020). Guardaparques salen de 10 áreas protegidas por amenaza de disidencias. “Por ultimátum nadie puede ingresar a Chiribiquete, Cahuinarí, La Paya, entre otros parques”. *El Tiempo.com*. <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/guardaparques-salen-de-10-areas-protegidas-por-amenaza-de-disidencias-465406>
- Shuare, M. (2010). Vigotski y Bajtin: historicidad y diálogo. *Psicología em Estudo*, Maringá, 15(3), pp. 441-455.

- Simmel, G. (2010). *El conflicto. Sociología del Antagonismo*. Ediciones Sequitur.
- Vergara Figueroa, A. (2017). *Estudios sobre el territorio: métodos y teoría. Conflictos, actores, emosignificaciones, estéticas y simbolismos*. Producciones Estratégicas-Pres.
- Vergara Figueroa, A. (2019). *Emosignificaciones Antropología de los sentidos de las emociones*. Producciones Estratégicas-Pres.
- Vila Torres, T. (2017). Territorialidades en disputa: la r-existencia de la nación u'wa y sus luchas, frente a las amenazas extractivistas sobre Kajka Ika. [Tesis de maestría.] Universidad Nacional de Colombia/Instituto de Estudios Ambientales-IDEA.

*Marcela Virginia Santana Juárez.* Doctora en Geografía por la UNAM, maestra en Planeación Urbana y Regional por la UAEMEX y licenciada en Geografía. Líder del Cuerpo Académico Geografía, Ordenación y Gestión Sustentable del Territorio. Es profesora de posgrado y docente en las Unidades de aprendizaje de Pensamiento geográfico, Geografía urbana y Geografía de la salud. Su producción científica incluye publicación de diversos artículos, coordinación y publicación de capítulos de libros.

*Luis Ricardo Manzano Solís.* Geógrafo, doctor y maestro en Ciencias del Agua por la UAEMEX. Profesor en las licenciaturas de Geografía y Geoinformática y en posgrados de Cartografía Automatizada. Es docente en la maestría en Análisis Espacial y Geoinformática, y en el doctorado en Geografía y Desarrollo Geotecnológico. Su línea de investigación se centra en el análisis sistémico de la gestión del agua y en la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en estudios de gestión del agua.

*Giovanna Santana Castañeda.* Doctora en Geografía, maestría en Análisis Espacial y Geoinformática y licenciada en Ciencias Geoinfórmáticas por la Facultad de Geografía de la UAEMEX. Es miembro candidata del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI), con perfil Prodep. Ha coordinado y participado en capítulos de libros y publicado diversos artículos en revistas indexadas. Sus líneas de investigación son: Geografía cuantitativa, Modelos espaciales, Análisis espacial, Geografía de la salud, Evaluación multicriterio, Sistemas de información Geográfica, Cartografía automatizada, Geografía social y Geografía urbana.

*Noel Bonfilio Pineda Jaimes.* Doctor en Geografía por la Universidad de Alcalá y licenciado en Geografía por la UAEMEX. Integrante del Cuerpo Académico Geografía, Ordenación y Gestión Sustentable del Territorio. Docente en las unidades de aprendizaje de Sistemas de Información Geográfica, Cartografía y Métodos de Análisis Espacial. Es Profesor del Doctorado en Geografía y Desarrollo Geotecnológico y de la Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática. Ha publicado artículos en revistas especializadas y capítulos de libros. Es integrante del RETESYG, representante de México en el REDISIG e integrante del RIDOT.

*Rebeca Serrano Barquín.* Geógrafa y maestra en Estudios Turísticos en las Facultades de Geografía, Turismo y Gastronomía por la UAEMEX. Profesora en las Facultades de Planeación Urbana y Regional, Arquitectura y Diseño, Turismo y Gastronomía y, actualmente, en Geografía. Es responsable de la evaluación de impacto ambiental de giros estatales en los Estados de México y Colima. Dentro de la administración pública ha participado en distintos ordenamientos. Colaboró en el decreto de tres ANP, en la actualización de normas ambientales y reglamentos, y con GTZ para la recuperación del acuífero del Valle de Toluca. Es Directora General de Normatividad (Ambiental) y Directora General de Ordenamiento e Impacto Ambiental de la Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México.

El Cuerpo Académico en Geografía, Ordenación y Gestión Sustentable del Territorio, ofrece esta obra cuyo objetivo es difundir conocimiento actual sobre la ordenación territorial hacia la sostenibilidad, un libro con pertinencia que aborda problemáticas mundiales, cumpliendo su finalidad social en la transferencia del conocimiento. Esta publicación conduce al quehacer científico, renueva el conocimiento, los abordajes teórico metodológicos e instrumentos de observación, medición y obtención de resultados de diversos contextos territoriales de Iberoamérica.

Está destinado a docentes, investigadores y alumnos universitarios, pero también es de utilidad para aquellos que toman decisiones y que están interesados en construir un mejor futuro. La temática que aborda es la “ordenación territorial hacia la sostenibilidad”, como una alternativa ante un planeta finito que requiere de la revalorización de la relación hombre-medio, por lo que se plantean desafíos para hacer más sostenible la vida en los diversos territorios.

**SDC**